

В. П. РЕВЯКИН

РЕМОНТ
АВТОТРАКТОРНЫХ ДЕТАЛЕЙ
ГАЛЬВАНИЧЕСКИМ
СПОСОБОМ

ИРКУТСКОЕ
ОБЛАСТНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
1952

4

В книге излагаются основы теории и практики ремонта автотракторных деталей гальваническим способом. Описывается хромирование, железнение, меднение, никелирование деталей, а также покрытие их гальваническими и гальванотермическими сплавами.

Книга рассчитана на работников ремонтных мастерских и заводов, мастеров-гальванотехников, старших механиков и главных инженеров МТС и студентов старших курсов.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1838 г. академик Российской Академии наук Борис Семенович Якоби, впервые в мире, предложил, а впоследствии и осуществил электролитическое осаждение металлов для практических целей.

В дальнейшем член Российской Академии наук Ленц и инж. Клейн разработали метод электролитического железнения и применили его на практике в полиграфическом деле.

После Великой Октябрьской социалистической революции, в годы индустриализации страны, у нас стали широко применять гальванические покрытия в различных отраслях техники.

С момента массового выпуска автомобилей и тракторов на авторемонтных и трактороремонтных заводах применяется хромирование для восстановления автотракторных деталей.

В настоящее время у нас внедряется пористое хромирование, эффективность которого оказывается очень высокой, особенно для деталей, у которых по условиям работы имеется недостаточная смазка трущихся поверхностей.

На авторемонтных заводах и в ремонтных мастерских внедряется новый способ восстановления изношенных автотракторных деталей — способ электролитического железнения, для осуществления которого применяются малые плотности тока (в сравнении с хромированием) и дешевые реактивы.

В условиях межрайонных мастерских капитального ремонта и ремонтных мастерских МТС может применяться как хромирование, так и железнение, но для МТС в большей мере применим ремонт способом железнения, так как при этом первоначальные затраты на оборудование и монтаж будут меньше.

В условиях МТС для железнения деталей в небольших ваннах (емкостью 30—40 литров) достаточно использовать в качестве источников постоянного тока автотракторные генераторы и применять сначала железнение посадочных мест на шейках и наружной поверхности колец и вкладышей. Такие гальванические установки небольших размеров в условиях ремонтных мастерских МТС и гаражей безусловно окажут большую помощь ремонтникам при проведении текущих и средних ремонтов автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин.

Затраты на ремонт деталей гальваническим способом не превышают 10—20% стоимости новой детали и поэтому новая технология ремонта позволит сэкономить в каждом хозяйстве значительные средства.

ВВЕДЕНИЕ

Подавляющее большинство автотракторных деталей изготавливается по второму классу точности. Если взять средний диаметр вала или отверстия в подвижных сочленениях равным 60 мм и если принять, что предельный зазор в эксплуатации без ремонта может быть допущен в три раза более начального, то распределяя износ на вал и отверстие поровну, получим (таблица натягов и зазоров, ОСТ 1020, посадка ходовая) максимальное значение износа по диаметру равным от 0,030 до 0,090 мм.

Следовательно, при износе на каждую сторону от 0,015 мм до 0,045 мм деталь или бракуется или подвергается ремонту.

Всякая технология ремонта, применяемая ремонтными предприятиями, сводится, таким образом, к возвращению сотых долей миллиметра, потерянных в эксплуатации. Борьба за микроны будет тем сильнее, чем выше класс точности изготовления деталей; поэтому большую роль в ремонтной технике должны сыграть различного вида металлопокрытия, применяемые сейчас в технике больше для антикоррозийных и декоративных целей, чем для целей восстановления деталей.

Восстанавливать потерянные в эксплуатации незначительные доли металла целесообразнее химическим, а не механическим путем, — если электрод наращивает при сварке, а резец снимает целые миллиметры металла, то химия накапливает и снимает только атомы его.

Некоторые виды металлопокрытий таят в себе большие возможности, как для упрочнения поверхностного слоя, так и для восстановления потерянных микронов.

Особенно эффективным может оказаться применение в ремонтной практике покрытий деталей сплавами, которые по механическим свойствам одинаковы со сплавами, из которых изготовлена сама деталь, или приближаются к ним. Наряду с этим находит также применение в ремонтном производстве железнение, меднение и хромирование деталей. Все эти методы не исключают, а дополняют друг друга, так как износы, дефекты и условия работы разных деталей являются неодинаковыми и имеют свои особенности.

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Способы восстановления автотракторных деталей

В ремонтной практике восстановление изношенных автотракторных деталей производится разными способами и выбор того или иного способа в конкретных условиях определяется или экономическими соображениями или производственными возможностями ремонтных мастерских (наличием соответствующего технологического оборудования).

Экономическое обоснование выбранного способа ремонта деталей, при технологическом проектировании определяется величиной затрат ремонтных средств на единицу пробега или на 1 гектар выработки. Чем меньше эти затраты, тем выше будет экономический эффект применения в производстве выбранного способа ремонта деталей.

При всем многообразии применяемых в производстве ремонтных операций все же многие из них можно сгруппировать в типовые группы с одинаковым технологическим процессом и из общей технологии ремонта выделить (1) наиболее часто встречающиеся способы восстановления деталей.

Технологическая однородность ремонтных операций является основным классифицирующим признаком, по которому можно разделить все способы ремонта следующим образом:

- 1) восстановление изношенных деталей способом ремонтных размеров;
- 2) восстановление изношенных деталей наваркой;
- 3) восстановление изношенных деталей металлизацией;
- 4) восстановление изношенных деталей гальваническим способом;
- 5) восстановление изношенных деталей путем раздачи и осадки их;
- 6) восстановление изношенных деталей путем поворачивания их другой, нерабочей стороной;
- 7) восстановление изношенных деталей при помощи добавочных деталей, имеющих форму втулок, гильз или колец;

8) восстановление изношенных деталей путем замены изношенной части новой.

Под ремонтные размеры ремонтируются шейки коленчатых валов, цилиндры двигателей, поршневые пальцы, гнезда подшипников.

Широко применяется наварка для ремонта изношенных деталей, особенно при заделке трещин; но этот способ является очень трудоемким и вызывает иногда брак вследствие термического воздействия сварочного пламени или дуги на металл.

Другие способы восстановления изношенных деталей имеют ограниченное применение, что зависит как от конструкции детали, так и от местоположения ее в машине.

Гальванический способ может широко применяться, так как покрытия металлами возможны на любых участках детали, независимо от конфигурации этой детали.

Целесообразность гальванического способа доказывается еще и тем, что согласно техническим условиям, действующим в настоящее время, размеры допускаемых износов автотракторных деталей по абсолютному значению очень невелики.

Так, например, износы поршневых пальцев не допускаются более 0,10 мм, износы поршней и цилиндров более 0,10—0,15 мм, износ посадочных мест может быть допущен только до 0,05—0,10 мм.

Размеры допускаемых износов

Можно разобрать общие случаи и определить величину допускаемого износа для основных типовых сопряжений.

Сопряжение вал-подшипник

В данном сопряжении размеры допустимых износов как для цапфы, так и для подшипника, могут быть определены из условия величин предельно-допускаемых зазоров между цапфой и подшипником.

В свою очередь, предельно-допустимый зазор находится в зависимости от толщины смазочного слоя в самом узком месте.

На рисунке 1 показано схематическое расположение шейки вала в подшипнике; при вращении вала масло из зазора захватывается им и в направлении вращения образуется масляный клин, несущий на себе вал и нагрузку. В этой зоне масляного клина образуется большое давление, которым собственно и определяется несущая способность масляного слоя.

На рисунках 2 и 3 приводится распределение давления в масляном слое вдоль и по окружности подшипника.

Из рисунка 2 видно, что зона давления в масляном слое не превышает 150° — 180° окружности цапфы, и что самая нагруженная часть находится вблизи участка с наименьшей толщиной смазочного слоя.

Если же рассматривать давление смазочного слоя вдоль подшипника, то во всех случаях нагрузки это давление будет наибольшим в середине подшипника, откуда постепенно убывает к концам его.

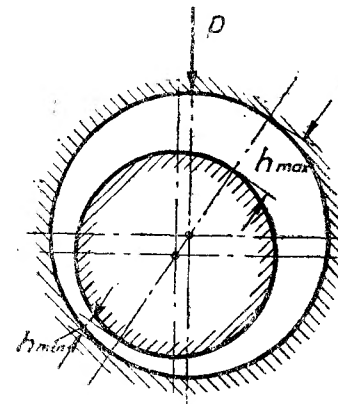


Рис 1. Схема расположения вращающейся цапфы в подшипнике

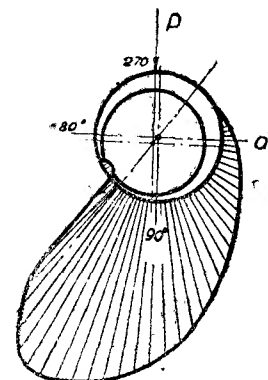


Рис. 2. Схема распределения давления в клиновидном масляном слое по окружности цапфы

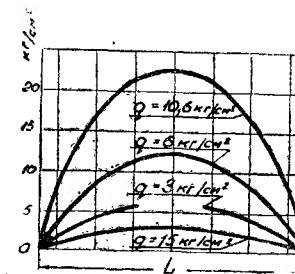


Рис. 3. Распределение давления по длине цапфы при небольшом удельном давлении

Такое распределение в подшипнике несущей способности смазочного слоя, обеспечивающей плавание цапфы, определяет рациональное место подвода масла и рациональное расположение канавок в подшипнике; их нужно всегда располагать в зоне подшипника, где или отсутствует давление, или эти давления имеют наименьшие значения.

Наличие смазочной пленки обеспечивает жидкостное трение между валом и подшипником. Если же зазор будет увеличивать-

ся, то клиновидная щель будет нарушена и возникнет полусухое и сухое трение, в результате которого значительно увеличится износ.

Предельно-малое критическое значение наименьшей толщины смазочного слоя, при котором происходит (2) разрыв масляной пленки, будет равно:

$$h_{\min \text{ крит.}} = 55 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\eta \cdot n}{k} \right) \text{ кр. } \frac{d^2}{c \cdot \Delta} \text{ мм, где:}$$

$h_{\min \text{ крит.}}$ — наименьшая критическая толщина смазочного слоя в мм;

η — вязкость масла в кг сек/м²;

n — число оборота вала в мин.;

k — удельная нагрузка на подшипник в кг/см² = $\frac{P}{d \cdot l}$, где P — общая нагрузка

$\left(\frac{\eta \cdot n}{k} \right) \text{ кр.}$ — критическое значение величины рабочего режима, при котором происходит разрыв масляного слоя;

d — диаметр цапфы в мм;

Δ — диаметральный зазор в мм;

l — длина подшипника в мм;

c — коэффициент, учитывающий конечную длину подшипника = $\frac{d+1}{l}$

Значение критического рабочего режима приводится в таблице 1.

Таблица 1

Ориентировочные значения рабочего режима для разных подшипников

Материал подшипника	Значение критического рабочего режима	
	поверхность цапфы стальная, закаленная, шлифованная	поверхность цапфы стальная, без термо- обработки, чистообра- ботанная
Подшипник баббитовый	285	355
Из пластической бронзы	425	500
Из твердой бронзы	570	710

Проф. Казарцев В. И. (3), исходя из того положения, что наименьшая толщина смазочного слоя при наименьшем трении соответствует значению:

$$h_{\min} = \frac{\Delta_{\text{наив.}}}{4}$$

и что критическая толщина смазочного слоя соответствует предельному зазору, при котором толщина смазочного слоя равна высоте неровностей вала δ_b и подшипника δ_n то есть:

$$h_{\min} = \delta_b + \delta_n.$$

определил следующие значения наименьшего, наивыгоднейшего и наибольшего зазоров:

$$\Delta_{\min} = 0,58 \Delta_{\text{наив.}}$$

$$\Delta_{\text{наив.}} = 0,467 d \sqrt{\frac{\eta \cdot n}{k \cdot c}} \text{ мм}$$

$$\Delta_{\max} = \frac{\Delta_{\text{наив.}}}{4 \delta}, \text{ где}$$

$\Delta_{\min}$ — наименьшее значение зазора в мм;

$\Delta_{\text{наив.}}$ — наивыгоднейшее значение зазора в мм;

$\Delta_{\max}$ — наибольшее значение зазора в мм;

k — удельная нагрузка на подшипник в кг/м²;

η — абсолютная вязкость масла в кг сек./м²;

δ — сумма высот неровностей цапфы и подшипника в мм.

Имея в виду, что увеличение зазора от начального его значения до наибольшего значения происходит за счет одновременного износа цапфы и подшипника, можно считать, что суммарный износ будет равен:

$$i = \Delta_{\max} - \Delta_{\text{нач.}}$$

где: i есть износ сопряжения в мм.

В среднем можно считать, что $\frac{2}{3}$ общего износа приходится на подшипник и $\frac{1}{3}$ на цапфу, то есть:

$$i_b = \frac{i}{3}; \quad i_n = \frac{2i}{3}$$

Возьмем частные примеры.

Чтобы перейти к абсолютным значениям величины износа, мы примем диаметр цапфы, вязкость масла для автола и коэффициент длины подшипника равными:

$$d = 60 \text{ мм};$$

$$\eta = 0,003 \text{ кг сек./м}^2;$$

$$c = 2.$$

Переменными величинами тогда остаются удельная нагрузка на подшипник и число оборотов вала; изменяя последние величины, можно проследить, как изменяется значение предельных износов.

Результаты расчетов мы свели к графикам, изображенным на рисунках 4 и 5.

Пример. Определить величину предельного износа, в зависимости от удельной нагрузки на подшипник, если дано, что: $d = 60$ мм; $\eta = 0,003$ кг/сек. m^2 ; $C = 2$, и что обороты меняются в пределах от 500 до 2000 об/мин.

$$\Delta_{\text{наив.}} = 0,467 \cdot 60 \sqrt{\frac{0,003 \cdot n}{C \cdot 2}} \text{ мм}$$

$$\Delta_{\text{тах}} = \frac{\Delta_{\text{наив.}}^2}{4 - 0,005} \text{ мм}$$

Значение высоты неровностей принято равным 0,005 мм; минимально допустимое значение зазора —

$$\Delta_{\text{мин}} = 0,58 \Delta_{\text{наив.}}$$

Суммарный износ сопряжения вал-подшипник:

$$i = \Delta_{\text{тах}} - \Delta_{\text{нач.}}$$

Если считать, что на вал приходится $1/3$ суммарного износа, а на подшипник $2/3$ общего износа, то износ вала на одну сторону составит:

$$i_{\text{в}} = \frac{i}{3}$$

А износ подшипника, на одну сторону, составит:

$$i_{\text{п}} = \frac{2}{3} i$$

Задаваясь различными нагрузками и разными оборотами вала, мы получим среднее значение допускаемых износов вала и износов подшипника на каждую сторону; результаты этих вычислений представлены на рисунке 4 для вала и на рисунке 5 — для подшипника.

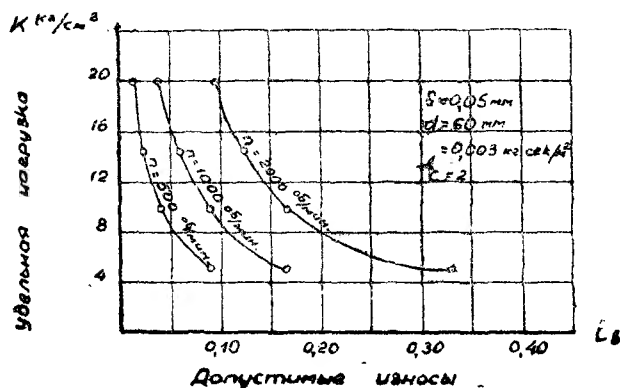


Рис. 4. Средние допускаемые износы шейки вала ($\varnothing 60$ мм.) в зависимости от нагрузки при разных оборотах

С увеличением нагрузки уменьшается величина допускаемых износов, а с увеличением скорости вращения вала допускаемые износы несколько возрастают.

Мы взяли среднее значение диаметра вала — 60 мм; при этих габаритных размерах шейки допускаемые износы имеют такие размеры, которые вполне укладываются в размеры гальванических покрытий по толщине осадка.

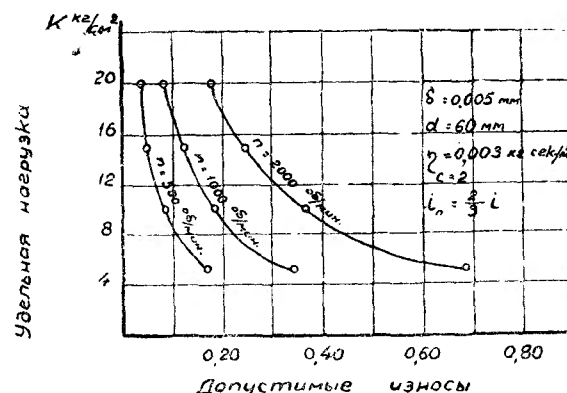


Рис. 5. Допускаемые износы подшипника в зависимости от нагрузки при разных оборотах

Итак, допускаемые износы валов находятся в пределах от 0,02 мм до 0,33 мм; а подшипников при постоянной нагрузке от 0,05 мм до 0,67 мм.

Кроме валов и подшипников большую группу изнашивающихся деталей составляют шестерни и шлицевые валики. Шестерни дефектуются главным образом по износу зубьев.

Сопряжения зубчатых колес

Нарастание износов зубьев шестерни происходит неравномерно, то есть не пропорционально числу часов работы; в результате износа профиль зуба постепенно искажается и при некоторой степени искажения интенсивность нарастания износа значительно повышается в сравнении с первоначальной.

Предельное искажение профиля зубьев, вызывающее форсированный износ их и будет соответствовать допускаемому износу зуба по его толщине.

Толщина зуба измеряется по начальной или делительной окружности, обычно при помощи зубомера.

Величину износа зуба цилиндрического зубчатого колеса можно определить по зависимости между удельным износом и мощностью, передаваемой колесом за определенный период времени работы.

При этом считается, что глубина износа профиля по начальной окружности прямо пропорциональна мощности трения, числу часов работы и обратно пропорциональна площади рабочей поверхности.

Величина износа зубьев шестерни будет равна (4):

$$i = \frac{c \cdot f \cdot N \cdot T}{b \cdot D \cdot \sin 2\alpha} \left(\frac{1}{Z_1} \pm \frac{1}{Z_2} \right) \text{ мм.} \quad \text{где:}$$

i — величина износа зубьев колеса в мм;

c — коэффициент износа зубьев, зависящий от материала зубьев и состояния поверхностей трения, в мм³/л. с. ч.;

f — коэффициент трения, зависящий от материала зубьев, характера обработки и смазки;

N — средняя мощность в л. с., передаваемая зубчатым колесом, за период T ;

T — продолжительность работы зубчатого колеса в часах;

b — длина зуба в мм;

D — диаметр начальной окружности колеса в мм, $D = m \cdot Z$, α — угол зацепления, $\alpha = 18-24^\circ$;

Z_1 и Z_2 — число зубьев ведущего и ведомого колес.

Значения коэффициентов трения f и коэффициентов износа зубьев приведены (4) в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

М а т е р и а л	f
Чугун по чугуну без смазки	0,20
Чугун по чугуну со смазкой	0,10—0,16
Сталь по стали со смазкой	0,05—0,10

Таблица 3

Значения коэффициентов износа зубьев

М а т е р и а л	c мм ³ /л. с. ч.
Хромоникелевая сталь, цементированная и закаленная	10
Никелевая сталь, улучшенная	13
Углеродистая сталь, цементированная и закаленная	18
Углеродистая сталь сырая	27
Стальное литье	40
Бронза фосфористая	47
Чугун	80

при модуле 1—4, зазор 0,2 мм;

при модуле 6—7, зазор 0,3 мм;

при модуле 7—10, зазор 0,4 мм;

Практически допускают в процессе эксплуатации увеличение нормального зазора в 3—4 раза. При этом износ, приходящийся на два сопрягаемых зуба, будет равен:

$$i_{\text{max}} = \Delta_{\text{max}} - \Delta_{\text{норм.}} \quad \text{то есть:}$$

при модуле 1—4 износ = 0,4—0,6 мм;

при модуле 4—7 износ = 0,6—0,9 мм;

при модуле 7—10 износ = 0,8—1,2 мм.

Для тракторных шестерен рекомендуется брать износ равным:

$$i = (0,20 - 0,25) m,$$

где m — модуль.

К сожалению, для автотракторных шестерен не установлена исследованиями зависимость между величиной износа и количеством часов работы машины, поэтому мы не знаем, при какой степени износа зуба наступает форсированный износ его, в силу чего приходится исходить из данных, полученных практикой эксплуатации и ремонта машин.

Зная величину допускаемого износа, установленную практикой, можно, задаваясь этой величиной, определить срок службы зубчатого колеса:

$$T = \frac{1 \cdot b \cdot D \cdot \sin 2\alpha}{c \cdot f \cdot N \cdot \left(\frac{1}{Z_1} \pm \frac{1}{Z_2} \right)} \text{ ч. а. с.}$$

Здесь буквенные обозначения те же, что и в предыдущей формуле; знак плюс в круглой скобке соответствует внешнему зацеплению, а знак минус соответствует внутреннему зацеплению.

Износ шлиц в шлицевых сопряжениях определяется максимальным зазором, так как при некотором предельном значении его обычно сминаются вершины шлиц, повышается удельное давление и впоследствии возникает повышенный износ их.

Согласно техническим условиям, действующим в ремонтных предприятиях, увеличение зазоров в шлицевом соединении допускается в эксплуатации в 3—4 раза.

Полученная разница в зазорах приходится на износ боковых поверхностей шлиц сопрягаемых деталей.

В качестве примера можно указать на следующие сопряжения и допускаемые при этом износы:

1. Сопряжение вала и шестерен коробки передач ГАЗ; по ширине шлиц допускаемый износ = 0,15—0,20 мм.

2. Сопряжение валов коробки передач и шестерен трактора СТЗ; допускаемый износ по ширине шлиц = 0,9—1,8 мм.

Большую группу ремонтируемых автотракторных деталей представляют также детали, образующие неподвижные соедине-

Профессор В. В. Ефремов рекомендует принимать при сборке машин нормальные боковые зазоры в цилиндрических шестернях в зависимости от их модуля:

ния. Сюда входят посадки гнезд и подшипников качения, посадки втулок, посадки шестерен и шкивов на валы и т. д.

Согласно техническим условиям ремонтных заводов в этих случаях прослабления посадок не допускаются. Прославление их связано с потерей натяга, абсолютное значение которого не превышает 0,08—0,12 мм. Следовательно, потеря предельного натяга может быть при износе до 0,06 мм.

В тех случаях, когда действительные износы автотракторных деталей превышают допускаемые износы, когда, следовательно, машина своевременно не поставлена в ремонт, тогда приходится производить восстановительный, а не капитальный ремонт машины и в этом случае назначается другая, не типовая технология ремонта.

По наиболее типовым и многочисленным группам деталей автомобиля и трактора допускаемые износы имеют значения, приведенные в таблице 4.

Таблица 4

Наименование детали	Допускаемая величина износа на одну сторону
Шейки валов	До 0,15 мм
Подшипники скольжения, глухие	До 0,30 мм
Зубья автомобильных шестерен	До 0,20—0,30 мм.
Зубья тракторных шестерен	До 2,0 мм
Шлицы валов коробки передач автомобиля	До 0,3 мм.
То же, но для трактора	До 1,1 мм.
Неподвижные соединения	До 0,06 мм.

Гальванический способ восстановления автотракторных шестерен может быть применен при нанесении толщины слоя до 2—3 мм (например, железнение) на одну сторону; в таком случае все типовые группы автотракторных деталей могут быть восстановлены нанесением на основной металл гальванических покрытий; следовательно, этот метод уже является универсальным и может даже в большей мере применяться при ремонте, чем, например, наварка на изношенные места или способ ремонтных размеров.

С повышением точности изготовления автотракторных деталей уменьшаются допуски на изготовление их, а также допуски на величину износа; в связи с этим гальванический способ ремонта будет иметь большие перспективы и в дальнейшем для применения его в ремонтном производстве.

При ремонте машин, кроме хромирования, в настоящее время может применяться также и железнение, покрытие сплавами, меднение. Эти процессы описываются в последующих главах.

ГЛАВА II

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ЭЛЕКТРОХИМИИ

Электролиз. Электрохимический ряд напряжений

Электролизом называются окислительно-восстановительные процессы, проходящие в электролите и на электродах при протекании через электролит постоянного электрического тока.

Растворы солей металлов, щелочей и кислот проводят электрический ток и являются, в отличие от металлических, проводниками второго рода; при прохождении электрического тока в этих растворах происходят химические процессы, благодаря которым на отрицательном электроде выделяется водород и металлы, а на положительном электроде выделяется кислород и кислотные остатки солей. Следовательно, электролитом будет называться всякая среда (водный раствор или расплавленное состояние), проводящая ток, в которой происходит электролиз.

Электродами называются проводники первого рода (металлы, уголь), находящиеся в электролите, на которых происходят химические процессы.

Катодом называется такой электрод, на котором совершаются восстановительные процессы; катод является отрицательным электродом.

Анодом называется такой электрод, на котором совершаются окислительные процессы; анод является положительным электродом.

В электролите атомы и молекулы растворившегося вещества распадаются на ионы; при помощи этих ионов совершается перенос электричества через электролит.

Катионами называются ионы, движущиеся к катоду; катионы несут на себе положительный электрический заряд.

Анионы — ионы, движущиеся к аноду; они являются отрицательно заряженными ионами.

Наиболее простейшим видом электролиза будет электролиз воды или раствора кислоты; схема такого электролиза представлена на рисунке 6, где в качестве электролита дан раствор соляной кислоты.

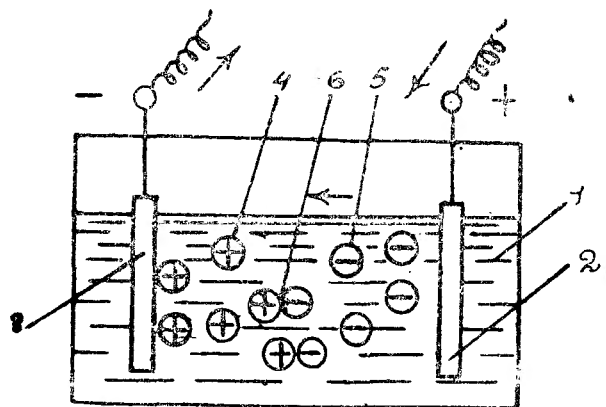
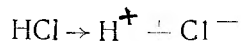
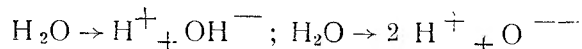


Рис. 6. Принципиальная схема электролиза:
1—электролит; 2—анод; 3—катод; 4—катион;
5—анион; 6—недиссоциированная молекула.

В данном электролите молекула соляной кислоты распадается на ионы водорода и хлора:



а молекула воды распадается на ионы водорода и кислорода:



(На катоде будет выделяться водород, на аноде молекулы кислорода и хлора).

Катионы водорода движутся к катоду, там получают недостающие электроны, становятся нейтральными атомами и выделяются в виде молекулы из 2 атомов в молекулы водорода.

Анионы хлора, достигая анода, отдают там свои лишние электроны, нейтрализуются и образуют из 2 атомов молекулу хлора. На аноде выделяется газообразный хлор.

На катоде происходит восстановление вещества, с чем связывается всегда отдача электронов, на аноде происходит окисление вещества и при этом вещество приобретает дополнительные электроны.

Количество вещества, выделяющегося на электродах, зависит от количества электричества, проходящего через электролит и также от химического эквивалента вещества.

Эта зависимость выражается двумя законами Фарадея:

1. Количество вещества, выделяющегося при электролизе на электродах, прямо пропорционально количеству электричества, проходящего через электролит:

$$Q = I \cdot t$$

Q — количество вещества на катоде или на аноде в граммах;

I — сила тока в амперах;

t — время электролиза в часах.

2. При одном и том же количестве протекающего электричества количество выделяемого вещества прямо пропорционально его химическому эквиваленту.

Для выделения одного грамм-эквивалента вещества требуется электрической энергии:

$$1 \text{ F} \approx 96500 \text{ кулонов или } 26,8 \text{ а. ч.}$$

здесь 1 F — число Фарадея.

Количество выделяемого вещества в граммах, приходящееся на один ампер-час, называется электрохимическим эквивалентом; последний будет равен:

$$k = \frac{X}{F} \text{ г/а. ч, где:}$$

X — электрохимический эквивалент;

X — химический эквивалент, равный:

$$X = \frac{A}{n};$$

A — атомный вес элемента;

n — валентность его;

F — число Фарадея, равное 26,8 а. ч.

Так например, электрохимический эквивалент железа будет равен:

$$k = \frac{A}{n \cdot F} = \frac{55,6}{2 \cdot 26,8} = 1,04 \text{ г/а. ч.}$$

В конечном итоге общее количество выделяемого на электроде вещества будет равно:

$$Q = k \cdot I \cdot t \text{ г.}$$

В гальванотехнике удобнее выражать количество осажденного металла по толщине осадка в единицу времени и через плотность тока.

$$D_k = \frac{I}{S_k} \text{ а/дм}^2$$

$$D_a = \frac{I}{S_a} \text{ а/дм}^2$$

D_k — катодная плотность тока;

D_a — анодная плотность тока;

I — сила тока в амперах;

S_k — катодная поверхность покрытия в квадратных дециметрах;

S_a — анодная поверхность, погруженная в электролит, в квадратных дециметрах.

Таким образом, на один квадратный дециметр:

$$Q = \frac{h \cdot 100 \cdot \gamma}{10} = h \cdot 10 \cdot \gamma, \text{ где:}$$

h — толщина слоя в мм;
 γ — удельный вес в г/см³

С другой стороны на один квадратный дециметр:

$$Q = k \cdot D_k \cdot t \text{ г.}$$

или: $k \cdot D_k \cdot t = h \cdot 10 \cdot \gamma$

Откуда время, необходимое для получения осадка заданной толщины — h мм. будет равно:

$$t = \frac{h \cdot 10 \cdot \gamma}{k \cdot D_k \cdot \eta}, \text{ где:}$$

η — коэффициент полезного действия ванны.

Если принять время равным 1 часу, то скорость наращивания в миллиметрах за час будет:

$$h = \frac{k \cdot D_k}{10 \cdot \gamma} \eta \text{ мм/ч}$$

Коэффициент полезного действия ванны определяется отношением фактического веса осадка к теоретическому:

$$\eta = \frac{Q \text{ факт.}}{Q \text{ теор.}}$$

Коэффициент полезного действия иногда выражается в %-х. Фактический вес осадка определяется обычно взвешиванием катода до и после электролиза, а теоретический вес осадка рассчитывается по законам Фарадея.

Электрохимические эквиваленты и коэффициенты полезного действия различных ванн приводятся в таблице 5

Таблица 5

Значения электрохимических эквивалентов и фактический выход по току разных ванн

Металл	Валентность	Электрохимический эквивалент в г/а. ч.	Факт. выход по току в %	Нормальный потенциал в вольтах
Марганец	2	1,025	70—80	—1,10
Цинк	2	1,220	75—90	—0,76
Хром	6	0,324	12—15	—0,56
Железо	2	1,042	80—90	—0,44
Кадмий	2	2,097	90	—0,40
Кобальт	2	1,100	85—90	—0,255
Никель	2	1,095	85—90	—0,25
Олово	2	2,216	90	—0,136
Свинец	2	3,865	95—98	—0,122
Водород	—	—	—	0,000
Медь	2	1,186	95—98	+0,345
Серебро	1	4,025	98—99	+0,808

В таблице 5 указан нормальный потенциал каждого металла, который определяется путем сравнения его с водородным нормальным электродом.

Нормальный потенциал металлического электрода образуется на границе металл-среда при опускании электрода в раствор его соли, имеющий концентрацию 1 грамм-иона на 1 литр.

Нормальный водородный электрод образуется при погружении в раствор кислоты (имеющей концентрацию ионов водорода равную 1 грамм-иона/л) платинированной платины, омываемой газообразным водородом под давлением в 1 атмосферу.

Значение потенциала нормального водородного электрода условно принято считать за нуль и нормальные потенциалы металлов исчисляются в сравнении с этим потенциалом.

Поэтому ЭДС гальванического элемента из двух металлов, находящихся в растворе их солей, будет равна алгебраической разности потенциалов этих металлов:

$$E = e_1 - e_2, \text{ где:}$$

E — электродвижущая сила гальванического элемента в вольтах;
 e_1 — потенциал электрода, имеющего положительный полюс гальванического элемента в вольтах;
 e_2 — потенциал электрода, образующего отрицательный полюс элемента в вольтах.

Каждый металл, стоящий выше другого в ряду нормальных электродных потенциалов, погруженный в раствор, будет вытеснять другой, более благородный металл из его солевого раствора.

Например, железо, опущенное в раствор медного купороса, быстро покрывается медью. В данном случае более положительный металл — медь вытесняется из раствора и осаждается на менее благородном металле — железе.

Нормальный потенциал металлического электрода указывает также и на то минимальное напряжение, которое нужно приложить к шинам ванны, чтобы происходило выделение металла на катоде.

Но потенциал напряжения, необходимого для выделения металла на катоде должен быть несколько больше нормального потенциала на величину падения напряжения в проводниках и на преодоление ЭДС, возникающей между электродами в результате поляризации их.

Различается концентрационная и химическая поляризация электродов. Первая возникает вследствие обеднения прикатодного слоя катионами, причем возникают среды с различной концентрацией ионов и потенциал катода становится более электроотрицательным. Концентрационная поляризация увеличивается в разбавленных растворах, увеличивается с понижением температуры электролита, увеличивается и в других случаях, когда затрудняется диффузия ионов к катоду или их перемещение в растворе. Наоборот, перемешивание электролита, повышение темпе-

ратуры, увеличение концентрации солей, снижают концентрационную поляризацию.

Замедления процессов разряда катионов, ограниченная скорость распада недиссоциированных молекул на ионы и дегидратация ионов (то есть освобождение ионов от молекул воды, окружающих ионы) — вызывают поляризацию электродов.

Химическая и концентрационная поляризация на отдельных электродах вызывает вместе анодную или катодную поляризацию: ЭДС поляризации в процессе электролиза направлена против ЭДС постоянного тока, приложенного к шинам ванны.

Для экспериментатора очень важно установленное положение, что с изменением внешних условий электролиза можно изменять и катодную поляризацию, которая в значительной степени влияет на образование структуры электролитического осадка.

Изменяя величину поляризации (разность между электродным потенциалом и равновесным потенциалом, то есть потенциалом металла относительно раствора его соли при отсутствии тока) можно подбирать приблизительно одинаковые условия осаждения разных металлов, что даст возможность решать положительно задачу одновременного соосаждения двух-трех металлов, для образования на катоде интересующего нас сплава металлов

Влияние температуры электролита, $D_{\pm}$ и pH на образование катодного осадка

Большинство гальванических процессов осуществляется в электролитах при обычной комнатной температуре, некоторые же, как например, хромирование, железнение и другие, производят в горячих электролитах. Общее воздействие повышенной температуры электролита сводится к тому, что обычно при этом значительно повышается допустимая плотность тока и, следовательно, увеличивается скорость наращивания металла.

Повышение температуры электролита уменьшает катодную поляризацию (главным образом концентрационную поляризацию), вследствие чего при той же самой катодной плотности тока в осадке образуются более крупные кристаллы.

Повышение температуры электролита увеличивает его электропроводность, вследствие чего снижается напряжение ванны и в некоторой степени повышается выход металла по току.

Влияние плотности тока можно видеть, прежде всего, из того факта, что с повышением тока катодный слой обедняется катионами, увеличивается падение потенциала в катодной пленке и ионы быстрее разряжаются на катоде. При этом растет число центров кристаллизации металла на катоде и зернистость его значительно уменьшается.

Обычно повышение плотности тока увеличивает твердость электролитического осадка и одновременно с этим и его хрупкость; наоборот, на пониженных силах тока осадки получаются более мягкими.

При очень высокой плотности тока осадки становятся дендри-тообразными, «подгорают», или же становятся губчатыми, поро-

шкообразными. С повышением плотности тока обычно увеличивается и выделение водорода на катоде.

Кислотность электролита является третьим главнейшим фактором, влияющим на качество катодного осадка; степень кислотности обычно измеряется при помощи показателя концентрации водородных ионов в электролите, обозначаемым через « pH ».

Показатель концентрации водородных ионов является отрицательным логарифмом десятичного основания, указывающим соответствующую часть грамм-эквивалента диссоциированных ионов водорода и гидроксила OH . Если концентрация водородных ионов и гидроксильных ионов в растворе одинакова, то среда является нейтральной; если водородных ионов больше, то среда будет кислой, и наоборот, если в растворе больше гидроксильных ионов, то среда является щелочной. В нейтральной среде концентрация ионов водорода и гидроксила равны:

$$(OH) = H^+ = \frac{1}{10^7} \text{ грамм-эквивалента}$$

В этом случае показатель концентрации водородных ионов будет равен:

$$pH = 7.$$

В кислой среде pH меньше 7, в щелочной pH больше 7 и изменение pH происходит от:

$$pH = 1 \text{ до } pH = 14.$$

Следовательно, если концентрация водородных ионов равна некоторой части грамм-эквивалента, например:

$$H^+ = \frac{1}{10^9}, \text{ то } pH = 9$$

$$\text{или } H^+ = \frac{1}{10^4}, \text{ то } pH = 4$$

Степень кислотности электролита в процессе работы удобнее определять при помощи индикаторов; 2—3 капли индикатора, спущенные в 3—5 мл испытуемого раствора, изменяют его окраску; по этой окраске можно определить и значение pH .

Более точно показатель концентрации водородных ионов — pH определяется потенциометрическим методом.

С увеличением кислотности обычно увеличивается насыщенность катодного осадка водородом, что может привести к его водородной хрупкости. При высокой кислотности уменьшается выход металла по току, если выделение металла происходит в некоторой степени совместно с водородом, как, например, при железнении. При слабой кислотности иногда образуется зашлаковывание электролита в прикатодном слое, в результате чего может выпасть на катоде осадок рыхлый, совершенно неудовлетворительного качества.

Исключительно большое значение имеет поддержание определенной кислотности при получении электролитических сплавов; с увеличением кислотности увеличивается электропроводность, снижается катодная поляризация (а следовательно, структура осадка будет мелкокристаллическая), но выход металла по току, например при железнении, может уменьшиться до нуля.

В большинстве случаев электролиты гальванических ванн

состоят из растворов солей осаждающегося металла, проводящих солей и буферных добавок. Проводящие соли добавляются в ванну с целью повышения электропроводности раствора в случае, если концентрация активных солей невысокая.

Повышение электропроводности дает возможность увеличить допустимую плотность тока.

Буферные соли вводятся в раствор с целью стабилизации его кислотности. Так, например, с этой целью в ванну никелирования вводится борная кислота, в ванны цинкования алюмо-калиевые квасцы и т. д.

Концентрация активных солей (солей осаждающегося металла) в большинстве случаев берется в размерах от 100 до 300 г/л раствора, но в некоторых случаях, как, например, при железнении, концентрацию хлористого железа, в практике, повышают до 700—800 г/л. Убыль ионов исходного металла в прикатодном слое восполняется лучше при высокой концентрации солей, нежели в разбавленных электролитах. В связи с этим всегда можно иметь возможность, без ущерба для осадка, повышать допустимую плотность тока при увеличении концентрации раствора.

Таким образом, можно подвести итог различных влияний на режим электролиза (табл. 6).

Таблица 6

Влияния различных внешних условий на режим электролиза

Наименование внешних условий	Степень и вид влияния внешнего фактора на результаты электролиза
Температура электролита;	При увеличении температуры электролита повышается допустимая плотность тока, структура осадка становится крупнокристаллической, осадок получается менее хрупким, мягким; уменьшается катодная поляризация; снижается выделение водорода на катоде.
Катодная плотность тока	С увеличением плотности тока до предельных его значений увеличивается твердость осадка, увеличиваются внутренние напряжения осадка, уменьшаются размеры кристаллов осадка, увеличивается катодная поляризация. При предельно-высокой плотности тока покрытия трескаются, на краях деталей образуются наросты и при дальнейшем повышении плотности тока покрытие получается аморфным, пророщкообразным.
Кислотность электролита	С увеличением кислотности облегчаются условия совместного выделения на катоде водорода и металла; увеличивается растворимость анодов (растворимых); усиливается наводороживание осадков. При уменьшении кислотности зашлаковывается ванна.
Концентрация солей осаждающегося металла	С увеличением концентрации активных солей может быть значительно повышена допустимая плотность тока; образуется крупнокристаллическая структура осадков (с пониженными механическими свойствами)

Кроме перечисленных выше факторов, имеются и другие многочисленные условия, которые оказывают влияние на электрокристаллизацию осадка. Тут имеет значение материал катода, чистота его поверхности, наличие в электролите коллоидальных веществ и других добавок.

Выделение металла и водорода на катоде

Отложения железа, хрома, никеля и других металлов, применение которых возможно в ремонтном деле, обычно происходит с одновременным (в большей или меньшей степени) выделением на катоде водорода. Потенциалы выделения этих металлов близки к потенциалам или к перенапряжению водорода. Перенапряжение водорода (то есть разность между потенциалом выделения водорода на любом металле и потенциалом выделения водорода на губчатой платине) не является постоянной величиной. Оно меняется в зависимости от материала катода, состояния катодной поверхности, состава электролита и т. д.

Перенапряжение выделения водорода нужно рассматривать совместно с потенциалом выделения на катоде металла; только в этом случае оно будет иметь практическое, реальное значение. Особенное значение имеет этот вопрос для осаждения металлов группы железа, так как потенциалы этих металлов и перенапряжение водорода близки друг к другу. Если потенциал выделения металла более электроотрицательный, чем потенциал выделения водорода, то фактически на катоде будет выделяться один водород. Если же их значения близки друг к другу, то на катоде вместе с металлом будет выделяться и водород, и наконец, если перенапряжение водорода больше, чем катодный потенциал, то на катоде будет выделяться один металл без водорода.

Перенапряжение выделения водорода (5) указывается в таблице 7.

Таблица 7

Перенапряжение водорода на различных металлах

М е т а л л	Перенапряжение водорода в вольт.	М е т а л л	Перенапряжение водорода в вольт.
Платинированная платина	0,060	Цинк	0,946
Гладкая платина	0,068	Серебро	0,762
Электролитическое железо	0,557	Графит	0,779
Медь	0,574	Алюминий	0,826
Латунь	0,646	Олово	1,077
Углерод	0,700	Кадмий	1,134

Для того, чтобы выяснить перенапряжение водорода не на чистых металлах, как приведено в таблице 9, а на технических сплавах, применяемых для изготовления машин, мы провели измерение катодных потенциалов выделения водорода в средах, наиболее близких к принятым в ваннах железнения. Для этого был взят электролит $0,1\text{NH}_2\text{SO}_4$ и температура электролита $= 60^\circ \text{C}$.

Условия эти сохранялись, а материал катода с каждым опытом изменялся. Были взяты катоды из латуни, сплава алюминия, бронзы, малоуглеродистой стали, высокоуглеродистой стали, свинца, серого чугуна. Анод — свинцовый.

Графики изменения потенциалов приводятся на рисунке 7. В качестве электрода сравнения был взят каломелевый электрод и измерение потенциалов производилось на потенциометрической установке.

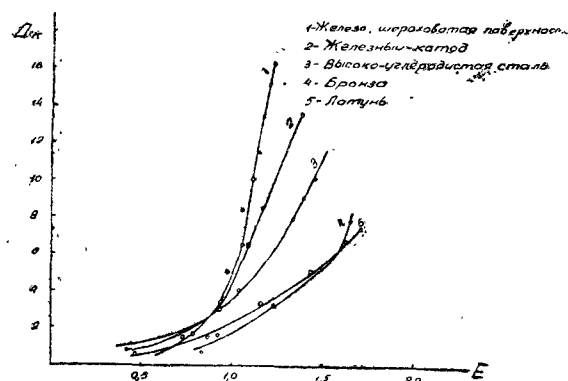


Рис. 7. Перенапряжение водорода в зависимости от плотности тока и материала катода

Наиболее высоким перенапряжением водорода оказалось перенапряжение на латунном электроде, наиболее низкое перенапряжение водорода было на поверхности высокоуглеродистой закаленной стали (поверхность шлифованная).

Это особенно важно для железнения, так как может оказаться в этом случае целесообразной необходимость изменения режима железнения, в связи с изменением материала автотракторных деталей. Нужно всегда стремиться к тому, чтобы уменьшить и даже свести к нулю выделение водорода на поверхности катода.

Перенапряжение водорода на шероховатой поверхности меньше, чем на гладкой поверхности того же металла.

На рисунке 8 приведены потенциалы, которые мы сняли при различных значениях кислотности. Электролит Na_2SO_4 100 г/л $+\text{H}_2\text{SO}_4$ анод — свинцовый, катод из малоуглеродистой стали, температура 60°C .

Из рассмотрения рисунка 8 вытекает, что с увеличением кислотности выделение водорода становится более возможным и более эффективным, то есть с увеличением кислотности снижается перенапряжение водорода.

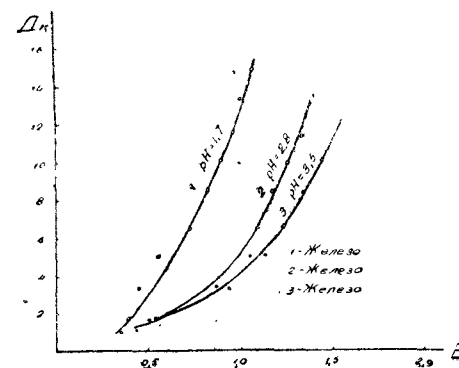


Рис. 8. Перенапряжение водорода в зависимости от кислотности электролита.

Потенциалы выделения металлов (электродный потенциал катода) на катоде не остаются постоянными на разных режимах электролиза, а меняются вместе с изменением режима.

Катодные потенциалы с увеличением концентрации солей и с повышением температуры — уменьшаются в некоторой степени; с увеличением же плотности тока — потенциалы увеличиваются.

Только благодаря перенапряжению водорода становится возможным выделение металлов, имеющих электроотрицательные потенциалы.

В кислом растворе сульфатов марганца на катоде выделяется один водород. С введением в этот раствор сульфата аммония и с некоторым понижением кислотности раствора становится возможным выделение металла на катоде.

На рисунке 9 представлен случай, когда водород выделяется при более низком потенциале, чем металл, а на рисунке 10 — случай, когда (наоборот) металл выделяется при более положительном потенциале, чем водород.

На рисунке 9 расположение поляризационных кривых указывает, что при малой плотности тока еще возможно выделение металла, которое будет происходить совместно с водородом, а при увеличении плотности тока на катоде будет выделяться один водород.

На рисунке 10 ход поляризационных кривых указывает на то, что металл будет выделяться на катоде во всех случаях, как бы ни изменялась плотность тока. Этот случай относится к электроосаждению металлов, на которых перенапряжение водорода высокое.

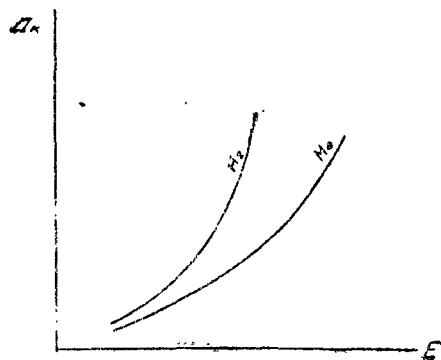


Рис. 9. Потенциалы выделения водорода и металла. Водород выделяется предпочтительно перед металлом

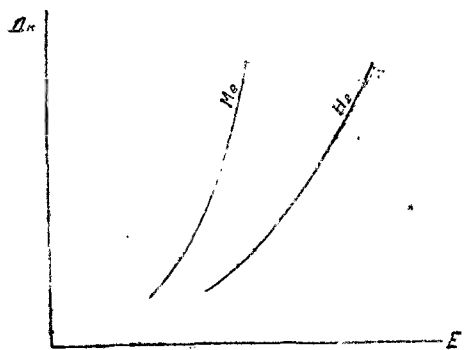


Рис. 10. Потенциалы выделения водорода и металла. Металл выделяется предпочтительно перед водородом

Механизм образования электролитического осадка и влияние различных факторов на качество его

Процесс электрокристаллизации на поверхности катода происходит одновременно по двум стадиям: образование новых центров кристаллов и рост кристаллов уже образовавшихся.

Катион, двигаясь к катоду, вследствие разности потенциалов, находится в прикатодном слое до тех пор, пока не наступит избыточное перенапряжение металла, достаточное для скачкообразного перехода иона в нейтральный атом и переход его на свое место в кристаллическую решетку, причем разряд иона и образование кристалла происходят одновременно.

Чем больше скорость образования зародышей кристаллов, тем мельче будут кристаллы в осадке, тем лучше будут механические свойства покрытия.

Образование структуры электролитического осадка зависит от большого количества факторов, сопровождающих электролиз. Наличие коллоидов, комплексообразователей и капиллярно-активных веществ, материал катодов, выделение водорода, перемещение электролита, состав электролита и т. д. влияют в разных степенях на характер структуры осаждающегося металла.

Коллоиды, то есть взвешенные в растворе мельчайшие частицы какого-либо вещества, оказывают сильнейшее влияние на характер осадка. В качестве коллоидов в гальванотехнике применяют крахмал, клей, желатину, декстрин, гидроокиси металлов группы железа, глюкозу, сахар и т. д.

Как правило, коллоиды задерживают рост кристаллов и тем самым способствуют образованию большого количества кристаллов на единице площади и образованию чрезвычайно мелкой и плотной структуры осадка.

Число кристаллов на единице площади катода, после введения в раствор коллоидов, увеличивается в 5—10 раз по сравнению с осадком, полученным из того же раствора без коллоидов.

При наличии коллоидов увеличивается твердость осадков, хотя одновременно и наблюдается увеличение хрупкости слоя; под влиянием катафореза коллоиды движутся к катоду, и там мельчайшие коллоидальные частицы захватываются и переходят в металлический осадок. В некоторых случаях коллоиды приобретают положительный или отрицательный заряд и вследствие этого переносятся к электродам. Диссоциирование коллоидов на ионы происходит при определенных значениях pH раствора, и по всей вероятности, при узких значениях других внешних условий электролиза.

Так, например, в кислой среде коллоид желатины приобретает положительный заряд и становится катионом, а в щелочной среде — наоборот.

Влияние коллоидов на осадок сказывается также при определенной, обычно очень малой, концентрации их в электролите. Увеличение или уменьшение этой концентрации обычно не вызывает уже желаемого эффекта. Содержание коллоидов в растворе колеблется от 0.2 до 3—4 г/л раствора.

Наличие коллоидов вызывает повышение катодной поляризации осаждаемого металла.

Наличие комплексообразователей и поверхностно-активных веществ в электролите способствует значительному изменению катодной поляризации. У отрицательных металлов потенциал их сдвигается в сторону более электроотрицательных значений.

Комплексные соли в растворе диссоциируют на комплексные ионы. Наличие последних изменяет механизм выделения металла и содействует образованию весьма тонкой структуры осадка.

Например, в цианистых ваннах меднения и цинкования катодная поляризация гораздо больше, чем в кислых растворах солей тех же металлов. Качество осадков из цианистых ванн много лучше осадков, полученных из растворов простых солей.

Капиллярно-активные вещества добавляются в ванну в ничтожно малых количествах (меньше, чем коллоидов), и все же они оказывают сильное влияние на образование осадка — последний значительно улучшается.

В качестве капиллярно-активных веществ применяются фенол, кретол, различные сульфокислоты и другие вещества. На характер структуры электролитического осадка влияет также и структура основного металла или состояние поверхности катода. Так, например, в практике гальванотехники известны такие случаи, когда разная подготовка перед электролизом вызывала осаждение одного и того же металла в разных структурах.

Отмечаются также и такие случаи в практике, когда осажденный металл имеет такую же структуру, как у основного металла. По всей вероятности, это происходит только в тех случаях, когда резко и отчетливо выявляется структура основного металла и при наличии крупных кристаллов в основном металле. Конечно, металл катода должен быть таким же, каким является и электроосажденный, хотя имеются отклонения и от последнего правила, например, при осаждении никеля на меди.

Если осадок воспроизводит структуру основного металла, то этим обеспечивается очень прочное сцепление с основой в силу срастания двух металлов, что особенно важно для ремонта машин.

В обычной практике при перерывах электролиза на шлифе поперечного сечения осадка всегда наблюдается слоистость, один слой покрытия отделяется от другого слоя окисным мостиком, но всегда структура нижележащего слоя продолжается в верхних слоях через окисный мостик.

Наличие пленок органических соединений на поверхности катода влияет на структуру осадка. Так, катоды, погруженные перед электролизом в раствор сахара или глицерина, покрываются более мелкими кристаллами.

Механическая обработка поверхности катода также оказывает влияние на структуру осадка. На шлифованных поверхностях получают более плотные и непористые осадки, чем на менее гладких поверхностях.

Все эти влияния надо определять опытным путем в каждом отдельном случае, соответственно подбирая метод подготовки, который обеспечит бы нам наилучшее сцепление осадка. Определенной закономерности здесь пока не найдено.

Кроме вышеперечисленных факторов, на качество осадка влияет выделяющийся на катоде водород. Водород входит в катодный осадок, проникая внутрь, нарушает первоначальное состояние кристаллической решетки, повышает хрупкость осадка и внутренние напряжения его. При наличии водорода поверхность осадка покрывается пузырчатыми вздутиями; или, наоборот, поверхность становится пористой, ноздреватой. Первый дефект объясняется давлением газообразного водорода, оставшегося в нижних слоях, который стремится выделиться обратно; второй дефект объясняется прилипанием пузырьков водорода к поверхно-

сти катода, эти пузырьки мешают электроосаждению металла до последнего момента, пока они держатся на катоде.

Перемешивание электролита не дает возможности пузырькам водорода задерживаться на поверхности катода и поэтому такое мероприятие будет являться положительным фактором, способствующим образованию более плотных осадков.

Перемешивание электролита осуществляется путем механических мешалок, вводимых в электролит, или путем пропускания струи сжатого воздуха через электролит. Одинаковое действие может оказать и вращение катода в спокойном электролите.

Убыль металла в прикатодном слое лучше восполняется при наличии перемешивания электролита, поэтому там можно допускать повышенную плотность тока. Механическое перемешивание электролита снижает катодную поляризацию, повышает гладкость катодного покрытия, но вместе с тем способствует образованию крупных кристаллов в осадке.

Влияние всех перечисленных и других факторов, влияющих на качество осадка, показано в таблице 8.

Таблица 8

Влияние различных условий на структуру осадка

Наименование условий электролиза, изменяющих структуру осадка	Степень влияния на структуру и механические свойства осадка
Коллоидальные вещества в электролите.	Образуются мелкозернистые осадки, уменьшается шероховатость покрытия, увеличивается твердость осадка. Т о ж е
Образование комплексных ионов в растворе и наличие капиллярно-активных веществ.	Материал катода оказывает влияние на структуру осадка—при гладкой поверхности катода шероховатость осадка уменьшается.
Материал катода и состояние поверхности.	Увеличивается хрупкость осадка, на поверхности катода создается пятнистость и пузырчатые вздутия.
Влияние водорода.	Способствует образованию гладкой поверхности и образованию крупнокристаллической структуры. Повышается допустимая плотность тока.
Перемешивание электролита.	Уменьшается наводороживание осадка, образуется крупнокристаллическая структура (при той же плотности тока), покрытия более гладкие. Осадки мягче.
Повышение температуры электролита.	При увеличении плотности тока твердость осадка увеличивается, образуется мелкозернистая структура.
Плотность тока.	Повышается поляризация катода. образуются мелкозернистые осадки.
Добавки в раствор солей с одноименным ионом.	На более гладкой поверхности осадки получаются лучше, плотнее, непористыми и более гладкими.
Механическая подготовка катода.	Образуются мелкозернистые и более твердые осадки.
Разбавление раствора.	

Вышеперечисленные факторы не должны рассматриваться изолированно друг от друга, они находятся во взаимосвязи, например, повышение температуры не будет создавать крупнокристаллических осадков, так как всегда с повышением температуры повышаются и плотность тока, которая, наоборот, способствует образованию мелкозернистых осадков. Нельзя также повышать плотность тока без учета температуры, концентрации электролита, кислотности и т. д., так как каждому из этих состояний соответствует и своя оптимальная плотность тока. Все эти факторы, указанные в таблице 8, нужно применять с учетом действия других факторов, влияющих на процесс электроосаждения.

Для ремонта машин исключительное значение имеет также знание конкретных условий возможности получения толстых покрытий, хорошего сцепления с основой и получения износостойких покрытий.

Рассеивающая и кроющая способность ванн. Сцепление осадка с основой

Рассеивающей способностью ванны мы называем — степень равномерности по толщине покрытия детали на отдельных ее участках.

Распределение массы электроосажденного металла по поверхности катода в основном зависит от густоты расположения силовых линий и наличия препятствий, задерживающих, или наоборот, перехватывающих энергию силового потока. Разные ванны дают разные показатели рассеивающей способности. Следовательно, этот показатель находится в зависимости, прежде всего, от характеристики металла.

Повышение катодной поляризации и повышение электропроводности раствора вообще улучшают рассеивающую способность ванны.

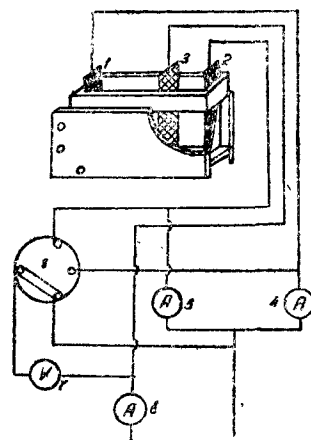


Рис. 11. Ванна для измерения рассеивающей способности

- 1 — удаленный катод
- 2 — ближний катод
- 3 — анод
- 4 — амперметр для удаленного катода
- 5 — амперметр для ближнего катода
- 6 — амперметр д/общей силы тока
- 7 — вольтметр
- 8 — переключатель

Для определения рассеивающей способности ванны, изготавливается специальная ванна, в которой находятся на разных расстояниях (рис. 11) от анода два катода; отношение этих расстояний — K , обычно берется равным:

$$K = 5 : 1,$$

то есть, например, на расстоянии 5 и 25 см. Рассеивающая способность в этом случае определяется в зависимости от веса осадков металла на двух катодах;

$$P = 100 \frac{K - \Pi}{K} \%, \text{ где:}$$

P — рассеивающая способность исследуемой ванны с заданным электролитом, в процентах;

K — отношение расстояний до анода от дальнего и от ближнего катодов;

Π — отношение весов металла на двух катодах, равное:

$$\Pi = \frac{Q_g}{Q_b}, \text{ где:}$$

Q_g — вес осадка за единицу времени на дальнем катоде;

Q_b — вес осадка за единицу времени (1 час) на ближнем катоде.

Для дальнейшей характеристики работы исследуемой ванны, введено еще понятие о кроющей способности ванны. Под этим понимается способность ванны покрывать имеющиеся на деталях углубления, причем толщина осадка, как это было при определении рассеивающей способности, здесь во внимание не принимается.

Учитываются только рельефные места деталей, покрытых электроосажденным металлом.

Для определения кроющей способности применяется ванна (рис. 12) с угловым катодом. Количественное значение кроющей способности определяется графически, по распределению металла на выпрямленном катоде.

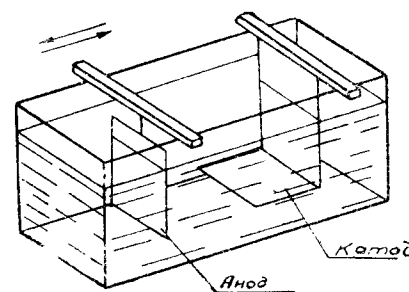


Рис. 12. Ванна для определения кроющей способности

Сцепление осадка с основой имеет большое значение для ремонта машин. Под прочностью сцепления понимают сопротив-

ление нормальным силам, отрывающим осадок от основного металла.

Прочность сцепления является одним из главных факторов, определяющих степень пригодности гальванического способа в ремонтном деле. Сцепление должно быть настолько высоким, чтобы во время работы детали, как бы слой ни был тонок в результате износа, не произошло отслаивания или вспучивания осадка, чтобы образовавшиеся в результате смятия и ударов внутренние напряжения на поверхности детали не могли бы довести осадок до отслаивания от основного металла, чтобы любой толщины осадок (2—4 мм) не мог вызвать ослабления сцепления из-за внутренних, образовавшихся в нем напряжений.

В литературных источниках по гальванотехнике очень слабо освещается степень сцепления осадка с основой и влияние на это различных факторов. В гальванотехнике общепринято наносить осадки тонкие, порядка 0,05—0,20 мм и только или с целью защиты изделия от агрессивных агентов, или с декоративной целью. Тонкие осадки достаточно прочно держатся, во всяком случае лучше, чем толстые осадки и, очевидно, не возникала надобность в специальном исследовании сцепления с целью повышения его. Доброкачественная подготовка перед электролизом обеспечивала потребный минимум в силе сцепления тонкого осадка с основой.

В другой области техники, в электрометаллургии водных растворов, занимаются получением толстых осадков для изготовления лент, труб и так далее, но вопросы сцепления там совершенно не изучаются.

Для ремонта машин, очевидно, можно применять только такое металлопокрытие, которое бы обладало хорошим сцеплением с основой и которое можно было бы получить толщиной в несколько миллиметров.

Вообще при ремонте машин покрытие может наноситься не столько с целью защиты, сколько с целью наращивания размеров изношенных деталей.

Итак, пригодность металлопокрытий в ремонте определяется прежде всего прочностью сцепления осадка с основой.

На многочисленных микроскопических снимках гальванических осадков, приводимых в специальной литературе, почти всегда (за редкими исключениями) ясно видима граничная линия между основным и электролитическим металлом. Сплошная граничная линия отделяет один металл от другого. Она существует также и в том случае, когда основной металл и электролитический — являются однородными, например, при осаждении меди на медь.

Абсолютные значения прочности сцепления различных металлопокрытий с разной основой приводятся в таблице 9.

Незначительное сцепление цинка (а также плохое сцепление железа и других металлов) объясняют иногда отрицательным действием водорода, осаждающегося на катоде.

Если между осадком и основным металлом накапливается водород, то он создает разделительную прослойку между двумя

Таблица 9

Прочность сцепления гальванических осадков

Металл покрытия	Металл основы	Прочность сцепления кг/см ²	Место разрыва
Электролитический никель	Мягкая сталь	3394	В стали
"	Никелевая сталь	4494	В стали
"	Латунь 70—30	3318	В латуни
"	Медь	2590	В меди
"	Электролитический никель с механически свежеобработанной поверхностью	3192	В слое покрытия
"	Алюминий	490	—
Хром	Сталь	Большее прочности хромового слоя на разрыв	—
Электролитическое железо	Сталь	415—536	—
Электролитический цинк	Железо	38,8	—

металлами и сцепление, в конце концов, действительно окажется непрочным. Но водород, входящий в катодный осадок, по нашему мнению, не оказывает прямого влияния на прочность сцепления.

Известно, что большинство электролитических металлов содержит в себе водород. Последний может быть в осадке в виде механических примесей, в виде химического соединения, или в виде твердого раствора.

Наибольшим поглощением водорода отличается хром, меньше — железо и дальше следуют цинк, кобальт, никель.

Электролитические металлы можно расположить в ряд по мере убывания силы сцепления со стальной основой и по мере убывания количества поглощаемого водорода в покрытиях по стали, следующим образом:

по силе сцепления — Cr — Ni — Fe — Zn

по количеству поглощаемого водорода — Cr — Fe — Zn —

Co — Ni — Sn .

В первом случае Ni занимает второе место, во втором случае Ni занимает пятое место; согласованность между сцеплением и количеством водорода не доказывается в определенной мере, тогда как многие исследователи указывают на влияние водорода как фактора, снижающего силу сцепления осадка с основным металлом.

Действительно, первые слои осадка всегда в большей степени насыщены водородом, чем верхние слои. Если водород может задержаться в промежутках между осадком и основой, то он может помешать сцеплению на границе. Нужно добиваться того, чтобы в первые минуты электролиза водород почти не выделялся на катоде.

Структура основного металла в значительной степени влияет на структуру электролитических осадков, особенно в первых слоях осадка, когда структура основного металла хорошо выявлена и когда основной металл и электролитический являются однородными.

Имеются (5) в гальванической практике случаи, когда после тщательной подготовки стального изделия кристаллы основного металла продолжали свой рост в электролитическом железном осадке, и таким образом было получено идеальное сцепление осадка с основой.

Отмечаются также случаи продолжения структуры основного металла в осадок у разнородных металлов, например, при осаждении меди на отожженном никеле, меди на отожженном серебре, меди на литой латуни.

Если система кристаллов и тип решетки их одинаковы у перечисленных металлов, все же постоянные решетки и радиус у них различны. Тем не менее, это не повлияло на слияние кристаллов основы и осадка между собою.

Поэтому кажется вероятной реальность получения электролитических осадков железа на стальном основании с кристаллами, растущими из основы в осадок.

Можно предполагать, что углеродистые, отожженные стали будут более склонны к продолжению структуры основного металла в осадок, нежели стали легированные специальными добавками или стали, кристаллическая решетка которых нарушена или дезорганизована механическим воздействием на поверхностный слой (наклеп, прокатка, шлифование и т. д.) или же, если искажение кристаллической решетки вызвано закалкой, цементованием и т. д.

Известно, что поверхность изношенных деталей в результате воздействия на нее внешних сил деформирована, в силу чего следует ожидать различной степени искажения кристаллической решетки, поэтому возможность прорастания кристаллов изношенного изделия при электролизе их железнением — мало вероятна.

Имеется в практике гальванотехники еще один способ повышения прочности сцепления путем накладывания на поверхность изделия такого металла, который хорошо сцепляется с основой.

Например, на стальных изделиях (табл. 9) хорошо держится никель, медь же из кислых растворов очень слабо сцепляется со сталью.

В практике гальванотехники известно, что хромовые покрытия очень плохо ложатся по хромистой стали и в этом случае практики применяют подслои путем меднения или никелирования,

но из практики неизвестно, как прочно сцепляется электролитическое железо с никелем или железо с медным электролитическим слоем и насколько введение таких подслоев может оказаться целесообразным.

Экспериментальным путем нужно проверить, насколько прочно сцепляется электролитическое железо с никелем, с медным или с хромовым покрытием.

Никелевая и медная прослойки применяются при хромировании, чтобы закрыть поры в хромовых осадках, образующихся, по мнению различных авторов, в результате большого поглощения металлом водорода.

К другим приемам косвенного повышения сцепления относятся — механическое шлифование катода в процессе его электролиза, подогрев катода, наложение переменного тока на постоянный и т. д.

В таблице 10, в качестве выводов группируются все прямые и косвенные способы повышения прочности сцепления.

Само собою разумеется, что для обеспечения хорошего сцепления в первую очередь необходимо хорошо подготавливать поверхность покрытия путем очистки, обезжиривания и поверхностного травления. Здесь мы рассматриваем дополнительные приемы, которые могут повысить прочность сцепления, в первую очередь, для процесса железнения или при отложении сплавов.

Таблица 10

Перечень условий электролиза, специально направленных к улучшению прочности сцепления осадка

Наименование дополнительных мероприятий	Их целевое назначение
Периодическое изменение полярности электродов в процессе электролиза	Нейтрализация водорода в моменты анодного травления и, следовательно, уменьшение количества выделяемого водорода.
Наложение переменного тока на постоянный	Торможение концентрации пузырьков водорода на катоде.
Подогрев поверхности катода (способ Тищенко)	Обеднение осадка водородом.
Введение в раствор электролита окислителей	Уменьшение приставания пузырьков водорода путем их химического удаления с поверхности.
Хорошая подготовка изделия, выявляющая маточную структуру.	Совершенное удаление посторонней пленки на границе катод-электролит.
Осаждение однородного (по структуре) металла	Прорастание маточных кристаллов в осадок.
Введение подслоя из инородного металла	Использование хорошего сцепления его со сталью.
Повышение шероховатости поверхности катода.	Повышение сцепления за счет механического закрепления осадка на неровностях изделия.

Из всех предложенных в таблице 10 мероприятий, повышающих прочность сцепления, наиболее приемлемыми в условиях ремонтных мастерских будут два, а именно: хорошая подготовка изделия, выявляющая маточную структуру и введение подслоя из инородного металла.

В отношении последнего мероприятия, то есть повышения шероховатости поверхности катода, нужно заметить, что создавать шероховатость не всегда целесообразно (хотя бы это и увеличило общую поверхность, а также и прочность сцепления), так как катодное покрытие будет повторять эти неровности, а при длительном электролизе и увеличивать их в размерах. Для шероховатых поверхностей потребуются более глубокая механическая обработка, чтобы получить обычную для деталей машины гладкую поверхность.

Глава III

ХРОМИРОВАНИЕ АВТОТРАКТОРНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Сущность процесса электролитического осаждения хрома

Из гальванических процессов, применяемых в ремонтной технике, хромирование занимает в настоящее время самое видное место. Гальванические цеха и отделения ремонтных заводов и мастерских оборудованы, главным образом, хромировочными ваннами; гораздо реже применяют другие виды покрытий.

Такое преимущественное распространение процесса хромирования объясняется, главным образом, положительными, ценными для ремонта качествами электролитического хрома.

Прежде всего, прочность сцепления хромового покрытия с основным металлом очень высокая и поэтому в практике могут покрываться не только гладкие цилиндрические детали с замкнутыми шейками, но и прерывистые поверхности, например, кулачки валов, где очень высокие удельные нагрузки, призматические детали и т. д.

Электролитический хром, в достаточной степени пластичный, не хрупкий металл, хорошо поддается механической обработке, не откалывается с торцевых плоскостей и углов детали.

Весьма ценным качеством электролитического хрома является его твердость. По твердости хром уступает только алмазу и корунду. Такая твердость присуща только электролитическому хрому, так как хром, полученный восстановлением из химических соединений, имеет твердость 150 Н.

Твердость хрома из обычных рабочих ванн хромирования равна 500—900 Н.

Твердость электролитического хрома при нагреве до 350—400° С не изменяется, при дальнейшем повышении температуры твердость хрома снижается. На рисунке 13 показано влияние нагрева на твердость хрома. Следовательно, при существующих рабочих режимах автотракторных машин, твердость хрома остается неизменной, так как температура трущихся деталей не достигает 300° С.

Повышенная твердость электролитического хрома объясняется действием высокой плотности тока, при которой возникает в

металле искаженная, в некоторой степени, и напряженная кристаллическая решетка.

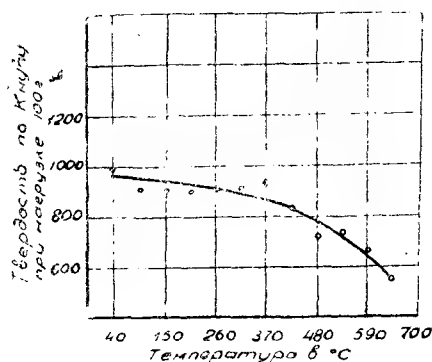


Рис. 13. Твердость хрома в зависимости от температуры термообработки (время выдержки 1 час)

В равновесное состояние электролитический металл может быть возвращен путем отжига его при более высоких температурах.

Высокая твердость электролитического хрома сопутствует и высокой износоустойчивости его. В таблице 11 приводятся данные (7) испытаний хромированных образцов на износ.

Таблица 11

Износоустойчивость хромовых покрытий

Плотность тока в а/дм²	Время, необходимое для снятия слоя хрома толщиною 0,025 мм	Относительное сопротивление износу
16	0,41	1
31	2,70	6
49	3,80	9
62	17,50	43
78	10,50	26
93	9,70	24
109	9,40	23

Истирание образцов производилось на наждачном круге и износостойкость определялась по времени, необходимому для истирания слоя толщиной в 0,025 мм. Температура электролита оставалась постоянной и была равна 49° С.

Из этих данных вытекает, что наибольшая износоустойчивость соответствует режиму с плотностью тока

$$D_k = 62 \text{ а/дм}^2.$$

Дальнейшее повышение плотности тока ухудшает осадок, так как обычно при некотором изменении плотности тока нужно изменять и температуру электролита, иначе осадок при чрезмерно высокой плотности тока становится непрочным.

Практически доказано и многократно проверено, что износоустойчивость электролитического хрома в 4—6 раз выше износоустойчивости закаленной среднеуглеродистой стали.

Обычно электролитический хром содержит в себе около 0,45 весовых процентов водорода, что соответствует 20% по атомному соотношению. Это больше, чем при железнении, цинковании и других электролитических процессах.

Для электролиза хрома применяется обычно хромовый ангидрид — соединение 6-валентного хрома. С кислородом хром образует, кроме этого, следующие соединения: CrO — закись; Cr_2O_3 — окись хрома.

Хромовый ангидрид CrO_3 состоит из темнокрасных кристаллов, удельный вес 2,70, хорошо растворяется в воде. Все соединения хромовой кислоты являются ядовитыми. Хромирование отличается от других гальванических процессов своими особенностями:

1. Хромирование производится при высоких плотностях тока $= 15—100 \text{ а/дм}^2$.
2. Ванна хромирования дает низкий выход по току $= 12—15\%$.
3. Кроющая способность ванны хромирования значительно меньше ванн других процессов.

4. При хромировании выделяются вредные испарения, для удаления которых требуется сильная вентиляция.

5. Электролиз производится при нерастворимых анодах.

Несмотря на то, что коэффициент полезного действия ванны хромирования не превышает 15% и для процесса требуется высокая плотность тока — хромирование все же является весьма эффективным способом восстановления изношенных деталей, главным образом, в силу высокой износоустойчивости и высокого сцепления хрома с поверхностью детали.

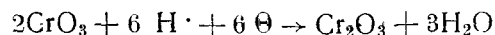
Поэтому хромирование широко применяется на заводах и в мастерских. Такое хромирование с большим успехом можно применять в мастерских МТС с целью восстановления деталей тракторов и сельхозмашин.

Особенно эффективно хромирование при ремонте посадочных мест, где восстанавливаются слои очень небольшой толщины.

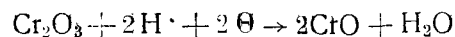
Для хромирования применяются электролиты, содержащие хромовый ангидрид в количестве 150 г/л, или 250 г/л и серную кислоту в количестве 1/100 от хромового ангидрида.

Выделение хрома на катоде происходит в несколько процессов:

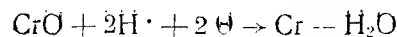
1. Восстановление шестивалентного хрома, выделяющимся на катоде водородом, до трехвалентного хрома:



2. Восстановление трехвалентного хрома на катоде до двухвалентного.



3. Выделение металлического хрома на катоде:



Одновременно с выделением хрома на катоде выделяется и водород, который частично переходит в осадок, а частично в молекулярном, газообразном состоянии улетучивается.

Хромовые покрытия имеют высокие механические качества, но прочность осадков зависит от режима хромирования. Изменяя режим, можно получить осадки разных цветов — молочные, блестящие и матовые. На рисунке 14 показаны на графиках условия электролиза (температура и плотность тока), соответствующие разным цветам осадков.

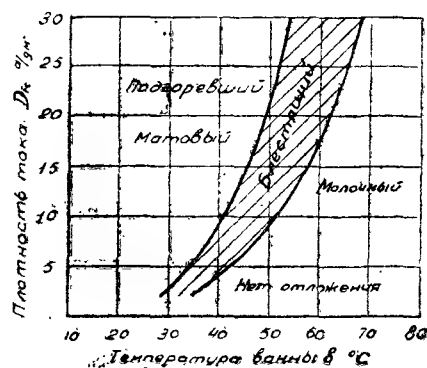


Рис. 14. Области получения матовых блестящих и молочных осадков хрома

Из графика, приведенного на рисунке 14, вытекает, что с увеличением температуры электролита осадки становятся более светлыми и такие осадки являются менее хрупкими. С увеличением плотности тока и понижением температуры осадки становятся матовыми, подгоревшими и более хрупкими.

Механические свойства электролитического хрома зависят также от микроструктуры его, внешнее различие которой определяется цветом осадка. Наиболее прочными являются блестящие осадки. В таблице 12 приводятся механические свойства хрома, определенные исследователями Витман Ф. Ф. и Давиденков Н. Н. (8).

Таблица 12

Механические свойства хрома

Механические свойства хрома	Толщина слоя хрома в мм, при режиме осаждения									
	температура 65°C, плотность тока 20 а/дм²					температура 55°C, плотность тока 35 а/дм²				
	молочный осадок —					блестящий осадок				
	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1
Модуль нормальной упругости в кг/мм²	—	—	2,1.10⁴	—	—	1,8.10⁴	—	—	—	1,7.10⁴
Удельный вес хрома г/см³	—	—	7,1	—	—	7,0	—	—	—	6,9
Прочность хромового слоя на разрыв в кг/мм²	50,5	27,6	16,3	62,5	39,8	30,8	60,0	36,6	25,7	—
Прочность сцепления хромового слоя с основным металлом при сдвиге кг/мм²	30,0	—	—	30,0	—	—	30,0	—	—	—
Прочность сцепления хромового слоя с основным металлом при отрыве кг/мм²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Прочность хромового слоя при нагружении перерезывающим усилием, в кг/мм²	32,2	26,8	19,1	36,4	18,4	11,7	42,3	20,4	11,7	—

Больше прочности хромового слоя на разрыв

Из таблицы 12 вытекают некоторые особенности хромового слоя:

а — высокая прочность сцепления хрома с основой;
б — наибольшая прочность слоя приходится на блестящий осадок;

в — с увеличением толщины слоя уменьшается прочность его.

Наиболее мягкие осадки — молочные, но эти же осадки являются и наиболее изнosoустойчивыми; в практике ремонта машин все же больше применяют блестящие осадки, так как в этом случае скорость наращивания будет больше.

Выбор режима электролиза должен быть согласован с характеристикой ремонтируемых деталей. Так, если восстановлению подлежат посадочные места деталей, то можно применять блестящие, а также и молочные осадки; если восстанавливаются детали с малой удельной нагрузкой — до 5 кг/см^2 , то ремонт хорошо обеспечивается блестящими покрытиями. В том случае, когда детали работают в машине с удельной нагрузкой более 5 кг/см^2 и характер нагрузки переменный, то лучше применять для ремонта этих деталей молочные осадки.

Молочные осадки имеют высокую изнosoустойчивость и кроме того в таких осадках внутренние напряжения гораздо меньше, чем в блестящих, и особенно в матовых.

Подготовка деталей к хромированию

Технологический процесс восстановления автотракторных деталей способом хромирования распадается на три составных части: подготовка к хромированию, хромирование и обработка деталей после хромирования.

Большое значение имеет проведение правильной подготовки деталей к хромированию, так как в этом случае будет обеспечено высокое сцепление покрытия с основным металлом и будет предупрежден брак деталей.

Практикой уже выработана определенная последовательность операций, проводимых при подготовке. Обычно эти операции проводятся в следующем порядке:

а — шлифовка и полировка деталей;

б — изоляция мест, не подлежащих хромированию;

в — монтаж деталей на подвески;

г — обезжиривание деталей и промывка их;

д — декапирование деталей;

е — хромирование.

Шлифовка деталей производится главным образом с целью устранения различных искажений геометрической формы деталей (овалы, конусность, риски и т. д.), образовавшихся в результате длительного износа.

С другой стороны, поверхность, подлежащая хромированию, должна быть гладкой и чистой. На такой поверхности отложения хрома будут также чистыми и гладкими. На шероховатых участ-

ках бугорки и поры будут копироваться при хромировании и они не будут выведены и при окончательной обработке деталей после хромирования.

Размер шлифования деталей определяется величиною рисок, овалов, и конусности поверхности деталей, а также теми соображениями, что после окончательной шлифовки деталей (после хромирования) оставалась бы минимальная толщина хромового осадка $0,05—0,06 \text{ мм}$.

Шлифование деталей производят на круглошлифовальных станках, установленных вне гальванического отделения. Шлифование ведется обычно кругом, имеющим зернистость 46—60, среднюю твердость — С; скорость вращения круга принимается $= 25—30 \text{ м/сек}$, а скорость вращения изделия $12—20 \text{ м/мин}$.

Полировка деталей после шлифования производится на полировочных станках, обычно устанавливаемых в гальваническом цехе. Чистота обработки при этом должна быть такой, чтобы не было заметно рисок от предыдущего шлифования и поверхность была бы доведена до зеркального блеска.

Для предварительной полировки применяются круги с накатанным на клею абразивным материалом, (наждаком). Круги делаются войлочные, бязевые и фетровые, диаметром $200—400 \text{ мм}$. Для отделочной полировки на полировальные круги наносится паста.

Таблица 13

Классификация абразивных материалов — минутников

Время отмучивания в мин.	Размер зерна мм	
	минимальный	максимальный
1/8	0,150	0,175
1/4	0,125	0,150
1/2	0,100	0,125
1	0,075	0,100
3	0,050	0,075
5	0,030	0,050
15	0,020	0,030
30	0,010	0,020
60	0,005	0,010

Характеристики абразивных материалов приведены в таблице 13. В условиях ремонтных мастерских наждачная пыль соответствующих размеров может быть получена путем отмучивания.

На полировальные круги накатывается наждачная пыль разных размеров (табл. 13), чтобы можно было после сортировки их применять круги для начальной и конечной полировок.

Круг намазывается по ободку горячим столярным клеем и потом на палке катают его по абразивному порошку, находящемуся в специальном длинном желобе. Накатывание абразива делают до тех пор, пока абразивный порошок не покроет равномерным слоем ободок полировочного круга. После этого круг сушат при температуре 20—30°, в течение 10—20 часов.

Кроме столярного клея может быть применено жидкое стекло или казеин. Для приготовления полировочной пасты применяются такие материалы, как крокус (окись железа), венская известь, парафин и др.

Процесс полировки в настоящее время (исследования академика И. М. Гребенщикова) объясняется, как процесс постепенно, послойного снятия окисных пленок с поверхности металла.

Все металлы покрыты тончайшей окисной пленкой; при полировке эта пленка снимается и обнажается чистый металл. Но обнаженный металл тут же снова окисляется, а новая пленка опять снимается с поверхности полировочной пастой. Таким образом, постепенно снимаются наружные слои поверхности металла до тех пор, пока не исчезнут все выступы и поверхность станет совершенно гладкой.

В качестве шлифовально-полировочных паст на наших машиностроительных заводах применяются различные компоненты, указанные в таблице 14.

Таблица 14

Составляющие компоненты полировочной пасты, в весовых частях	Для каких материалов			
	по железу	по меди	по хрому и никелю	по меди и никелю
Наждачная пыль	35	—	—	—
Парафин	10	—	—	18
Сало говяжье	5	—	—	4
Крокус (окись железа)	—	15	—	—
Стеарин	—	8	8	—
Олеин	—	2	2	—
Венская известь	—	—	—	35
Окись хрома	—	—	15	—
С е р а	—	3	3	—
Графит	—	1,2	1,2	—
Тавот	1	—	—	—

Полировка изделий производится фетровыми или матерчатыми кругами (сшитыми из слоев фетра или ткани до толщины 15—25 мм), на которые наносится указанная паста; полировка этой пастой является окончательной операцией; предварительная же полировка обычно производится войлочными кругами, на которые накатывается абразивный материал — минутники. Поли-

ровка вначале производится более крупным абразивом, потом мелким и заканчивается кругами с полировочными пастами, указанными в таблице 14; полировка считается законченной, когда исчезнут следы обработки после шлифовки и поверхность приобретает зеркальный блеск.

В порядке подготовки деталей перед хромированием полировочные операции производятся на обычном полировочном станке, на валик которого с обеих сторон монтируются полировочные круги. Для полировки отверстий приспособляют сверлильные станки, на которые в качестве рабочего инструмента устанавливаются деревянные разжимные сегменты, обклеенные снаружи наждачной бумагой.

Полировку валов можно производить также на токарных станках при помощи деревянных обжимок. Скорости вращения полировальных кругов обычно применяются для стали 20—30 м/сек, для цветных металлов 10—20 м/сек.

После того, как изделия будут отполированы, приступают к изоляции участков детали, не подлежащих хромированию.

Изоляция мест, не подлежащих хромированию, производится путем нанесения на поверхность изоляционного лака (цпонлак, эмалит, нитролак), не разрушающегося при нагревании электролита. Для этих же целей применяются и отходы киноплёнок или листовой целлулоид, наворачиваемые на изолируемые участки. Для изоляции раствор лака наносится кистью в 2—3 слоя, причем каждый раз отдельный слой сушат в течение 1—2 часов.

В нехромируемые отверстия деталей вставляют свинцовые пробки. После изоляции необходимых участков детали монтируются на подвески, при помощи которых они будут висеть на штангах ванны хромирования.

В качестве наиболее простой подвески применяется крючок из медного провода, нижний конец которого припаивается к хромируемой детали. После хромирования производится каждый раз отпайка такого провода от деталей.

Для более сложных деталей приходится изготавливать специальные подвесные приспособления, которые должны обеспечить правильное положение хромируемых мест относительно анодов и хороший контакт в местах соединения со штангами. Для покрытия поршневых пальцев применяется обычно подвеска, показанная на рисунке 15, а для хромирования различных отверстий, например,

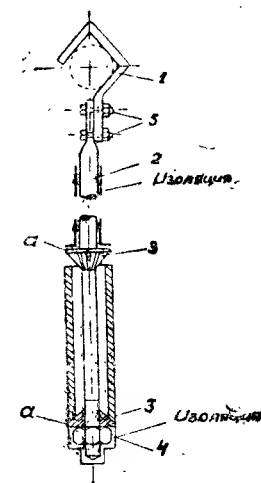


Рис. 15. Подвеска для хромирования поршневых пальцев. 1—крючок подвески; 2—стержень подвески; 3—дополнительный катод; 4—зажимная гайка; 5—винты крепления крючка

для гильзы можно применить подвеску, изображенную на рисунке 16.

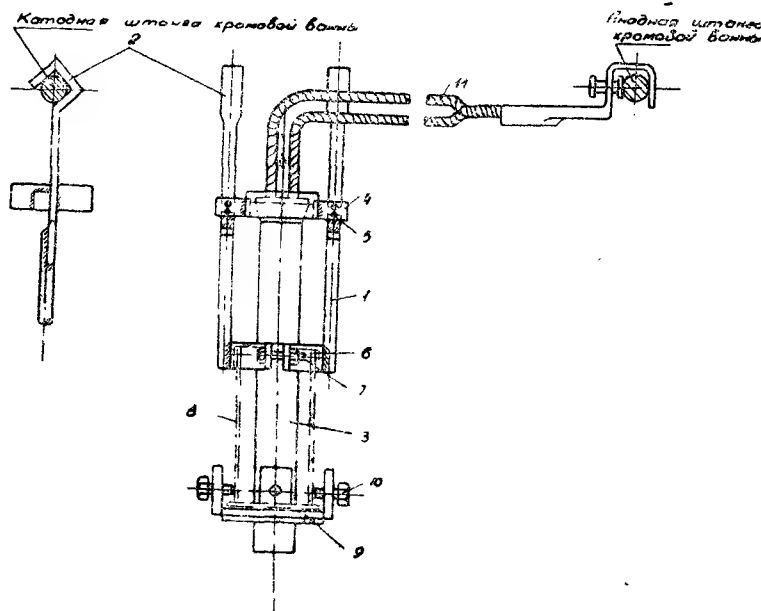


Рис. 16 Подвески для хромирования гильз: 1—стержни подвески; 2—крюки стержней; 3—анод; 4—верхний хомут; 5—винты верхнего хомута; 6—нижний хомут; 7—стяжной болт; 8—гильза; 9—центрирующее кольцо; 10—центрирующие винты; 11—кабель

Поршневые пальцы, устанавливаемые по несколько штук на каждый стержень — снизу и сверху закрываются свинцовыми пробками, которые будут предупреждать образование хрупких наростов на ребрах деталей. При хромировании гильзы анод, цилиндрической формы, вставляется внутрь гильзы, по центру, с расчетом более равномерного распределения хромового покрытия по поверхности. Чтобы избежать концентрации силовых линий

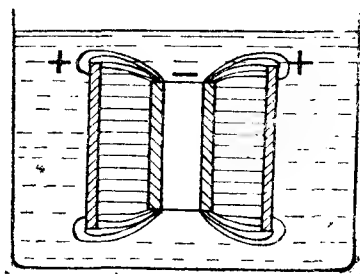


Рис. 17. Схема распределения тока при хромировании

внизу и вверху, рекомендуется в этих местах ставить экраны; в качестве экранов применяется свинцовая проволока, свинцовые шайбы и т. д. Они оттягивают на себя часть силового потока и поэтому осадок хрома на гранях будет более равномерным. Чтобы лучше уяснить влияние формы электродов на распределение силовых линий на рисунке 17 приводится простейший случай, когда покрывается

наружная часть круглой детали, расположенной между двумя анодами.

Чтобы торцевые плоскости хромируемой детали не имели на краях дендритообразных наростов хрома, лучше завешивать в этих местах экраны, оттягивающие на себя часть силового потока; в данном случае экраны могут быть сделаны в форме круга, соответственно диаметру детали, и располагаются вверху и внизу детали.

При хромировании различных отверстий желательно свинцовый анод располагать точнее по центру, и тогда осадок будет более равномерным по всей поверхности. При хромировании круглых изделий плоские свинцовые аноды обязательно располагать с двух сторон.

После монтажа деталей на подвески приступают к обезжириванию деталей и к последующей их промывке.

В гальванотехнике применяются различные виды обезжиривания деталей перед хромированием: механическое, химическое и электролитическое. К механическому обезжириванию относится довольно распространенный способ удаления с поверхности деталей жировых пленок, способ протирания детали раствором (кашицеобразного состояния) мелкой венской извести. Протирание этим раствором производится вручную кистью или тряпкой, смоченными раствором извести; протирание нужно производить тщательно в течение 2—3 минут. После этого деталь промывается проточной водой.

При небольших нагрузках хромировочных ванн в небольших мастерских такой вид обезжиривания в практике применяется чаще.

Химическое обезжиривание деталей производится в растворе щелочей натрия и калия, путем выдержки деталей в этом растворе, обычно подогреваемом до 50—60° С, в течение 1—2 часов.

В таком случае нужно изготовить ванну обезжиривания с подогревом и установить над нею соответствующую вентиляционную камеру.

В качестве раствора применяется 10% раствор едкой щелочи или смеси, состоящей из углекислой соды в количестве 50 г/л, едкого натра 10—20 г/л и жидкого стекла или мыла в количестве 3—5 г/л.

Электролитическое обезжиривание стальных изделий может производиться в этом же растворе, как и для химического обезжиривания. Но процесс разрушения жировых пленок и омыления их частей в этом случае будет происходить под действием электрического тока, пропускаемого через раствор ванны и сам процесс будет осуществляться гораздо быстрее. Электролитическое обезжиривание лучше производить, завешивая детали на аноде, а не на катодной штанге, так как в этом случае мы избегаем наводораживания. На катоде выделяется значительное количество водорода и часть его диффундирует в деталь, вызывая поверхностную хрупкость. На аноде процесс обезжиривания хотя и происходит несколько медленнее, так как молекулы кислорода, выде-

...ляющиеся на аноде, являются менее активными в этом смысле, но зато не происходит наводораживания.

Для электролитического обезжиривания рекомендуется температура раствора 50—60°, плотность тока 3—10 а/дм². Ориентировочное время обезжиривания составляет 3—5 минут.

Для обезжиривания изделий из цветных металлов (алюминия, цинка, сплавов меди и т. д.), разрушающихся в щелочах, рекомендуется раствор из углекислого натрия или калия 25—30 г/л. из фосфорнокислого натрия 25—30 г/л.

Режим работы в этих ваннах: плотность тока 3—10 а/дм². температура 50—70°, продолжительность обезжиривания равна 1—3 мин.

После обезжиривания обязательна промывка деталей в проточной воде, чтобы не заносить остатки щелочей в последующие ванны.

В щелочных ваннах, особенно при длительной выдержке щелочной раствор может разрушить пленку изоляционных лаков, нанесенных ранее на места, не подлежащие хромированию. В таком случае следует изоляцию нехромируемых мест производить после обезжиривания, а не до него.

Последней подготовительной операцией перед хромированием остается декапирование деталей. Декапирование производится с целью удаления с поверхности хромируемых деталей окисной пленки. Имевшиеся окислы, если их оставить на поверхности, будут мешать хорошему сцеплению хромового осадка с основным металлом. Поэтому следует тщательно производить декапирование, чтобы обеспечить хорошее сцепление хрома на деталях.

Декапирование представляет собою процесс легкого травления поверхности деталей и производится оно непосредственно перед хромированием.

В практике хромирования автотракторных деталей обычно не производят травления деталей в растворах кислот, а удовлетворяются одним процессом декапирования. Этот процесс осуществляется гораздо быстрее, чем травление. Обычно декапирование деталей осуществляется в хромовой ванне, как процесс анодного травления.

Детали завешиваются на анодную штангу и при рабочей температуре хромового электролита, при плотности тока 30—50 а/дм², производят декапирование в течение 30—50 сек. Иногда декапирование производят в рабочей ванне, где перед началом хромирования при помощи двухстороннего перекидного рубильника включают ток обратного направления. Через 1/2—1 мин., то есть после декапирования, включают ток с обычным направлением, чтобы завершенные детали являлись катодом, а не анодом, как при декапировании. При этом экономится одна ванна.

При наличии отдельной декапировочной ванны, после декапирования изделия нужно тщательно промыть в горячей воде и погружать тут же в ванну, находящуюся под током.

Декапирование является последней операцией перед хромированием.

Режим процесса хромирования

Для хромирования автотракторных деталей в ремонтной практике применяются электролиты следующих составов:

первый состав:

хромовый ангидрид — CrO₃ 150 г/л

серная кислота — H₂SO₄ 1,5 г/л

второй состав:

хромовый ангидрид — CrO₃ 250 г/л

серная кислота — H₂SO₄ 2,5 г/л

В обоих случаях соотношение между хромовым ангидридом и серной кислотой равно 100; это соотношение является наилучшим, при этом обеспечиваются лучшего качества осадки и нормальный процесс электролиза.

Более твердые осадки получаются при концентрации Cr O₃ в 150 г/л, при этом и рассеивающая способность ванны больше, но кроющая способность лучше в более концентрированных ваннах.

Можно рекомендовать применение первого состава ванны для восстановления более ответственных деталей, а второго состава для ремонта менее изнашиваемых деталей и для декоративного покрытия разных вещей.

Для деталей с небольшим удельным давлением, а также для восстановления посадочных мест, можно применять следующую ванну:

хромовый ангидрид — 200—250 г/л;

серная кислота — 2—2,5 г/л;

температура 45—50°, плотность тока 30—35 а/дм².

Для восстановления изношенных деталей, имеющих среднюю и высокую нагрузку на них, порядка 10—30 кг/см², применяется другая ванна, состава:

хромовый ангидрид 150—200 г/л;

серная кислота 1,5—2,0 г/л;

температура электролита 50—55°, плотность тока 35—40 а/дм².

При том же растворе применяется и «ускоренное» хромирование, но режим при этом изменяется:

температура электролита 55—65° С;

плотность тока 55—70 а/дм².

При этом сохраняются блестящие осадки хрома и повышается скорость наращивания хрома.

В качестве анодов в хромовых ваннах применяют свинцовые пластины для хромирования наружных поверхностей и круглые свинцовые стержни для хромирования отверстий. Поверхность анодов должна быть меньше поверхности катодов; это соотношение следует выдерживать равным:

$$\frac{S_a}{S_k} = \frac{1}{2,0-2,5},$$

где S_a и S_k — поверхности анодов и катодов.

Для крепления анодных пластин или стержней обычно применяются приклепанные к ним крючки из меди, подвешенные на медные плюсовые штанги.

Количество трехвалентного хрома в ванне не должно превышать 5 и 10 граммов на литр раствора; увеличение трехвалентного хрома в ванне вызывается накоплением его у катодов вследствие несоответствия анодной поверхности относительно катодной. Если анодная поверхность мала, а катодная поверхность большая, то на аноде задерживается окисление трехвалентного хрома до шестивалентного.

На свинцовых анодах трехвалентный хром легче окисляется до шестивалентного, чем на анодах из стали и даже из платины.

В качестве материала для анодов обычно применяют сплав свинца с 6% сурьмы. Этот сплав более устойчив в хромовом электролите.

Избыточное количество трехвалентного хрома сужает область блестящих осадков, вследствие чего вообще затрудняется корректировка ванны, затрудняется управление ею.

Выбор режима ванны в основном зависит от номенклатуры восстанавливаемых деталей. При этом нужно руководствоваться условиями, при которых получаются молочные и блестящие осадки, избегая при этом матовых и подгоревших осадков, как не пригодных для ремонта машин.

Продолжительность хромирования определяется заданной толщиной осадка, наносимого на трущуюся поверхность деталей, — чем больше оказался износ, тем больше потребуется выдержка детали в ванне для устранения этого износа. Толстые слои при хромировании не могут быть получены; в среднем можно считать практически достижимой максимальную толщину осадка = 0,3—0,4 мм; при этой толщине еще сохраняется хорошее качество хромового осадка.

С увеличением толщины осадка поверхность его становится шероховатой, неровной, начинает сказываться отрицательное действие водорода на осадок и в силу его преимущественного выделения выход металла по току значительно снижается.

Поэтому для хромирования надо подбирать детали с небольшими износами, например, детали, имеющие износ в посадочных местах, поршневые пальцы, кольца.

Время хромирования, необходимое для получения осадка определенной толщины, устанавливается в зависимости от плотности тока, расчетным путем, приведенным ранее. Необходимое для хромирования время будет равно:

$$t = \frac{h \cdot 10 \cdot \gamma}{k \cdot D_k \cdot \eta} \text{ час.}$$

здесь: h — заданная толщина осадка в мм;
 γ — удельный вес хрома в г/см³ = 7,1;
 K — электролитический эквивалент хрома, равный:

$$K = \frac{A}{n \cdot F} = \frac{52,01}{6 \cdot 26,8} = 0,324 \text{ г/а—час,}$$

где A — атомный вес хрома = 52,01;
 n — валентность CrO_3 = 6;
 F — число Фарадея = 26,8 а/ч;
 D_k — плотность тока в а/дм²;
 η — коэффициент полезного действия хромировочной ванны = 0,12—0,15, в среднем — 0,13;
 t — необходимое время электролиза в часах.

В среднем (из практических данных ремонтных предприятий) получают скорость наращивания хрома = 0,04 мм/час. Исходя из этого и можно ориентировочно определять продолжительность хромирования.

Технологический процесс хромирования

Технологический процесс ремонта автотракторных деталей хромированием состоит из ряда последовательно выполняемых ремонтных операций. Сюда входят:

- 1) шлифовка деталей;
- 2) полирование деталей;
- 3) промывка в бензине с целью удаления жиров и смазки;
- 4) изоляция мест, не подлежащих хромированию;
- 5) монтаж на подвески;
- 6) обезжиривание деталей;
- 7) промывка в горячей или холодной воде;
- 8) анодное декапирование в хромовой ванне;
- 9) хромирование деталей;
- 10) промывка в дистиллированной воде;
- 11) промывка в проточной воде;
- 12) снятие изоляции и подвесок;
- 13) сушка деталей;
- 14) термическая обработка деталей;
- 15) шлифовка деталей под номинальный размер.

Основное описание подготовительных операций приводится выше, поэтому здесь не разбирается.

Промывка деталей в дистиллированной воде после хромирования производится для сохранения хромового электролита, оставшегося на поверхности хромированных деталей, поэтому ванна с дистиллированной водой постепенно обогащается хромовым электролитом и этот раствор может быть употреблен для хромовой ванны.

После промывки в проточной воде счищается ранее нанесенная изоляционная пленка лака и отпаиваются или открепляются от деталей провода и подвески, снимаются экраны или дополнительные катоды.

Сушка деталей производится в сушильном шкафу или в опилках.

До шлифовки деталей рекомендуется производить термическую обработку их путем выдержки в течение 1—2 часов в машинном масле, подогретом до 150° С.

В результате такого отпуска твердость хрома повышается и что самое главное — снимаются внутренние напряжения хромового осадка. При этом удаляется из хрома водород, который диффундировал в металл в процессе хромирования.

Внутренние напряжения хромовых покрытий достигают значительных величин, порядка 4000—6000 кг/см² и неблагоприятно отражаются на пределе усталости деталей; этот предел снижается на 20—30% в сравнении с пределом усталости нехромируемых изделий.

В результате внутренних напряжений, имеющихся в хромовых покрытиях (на блестящих и матовых осадках), создается целая сетка трещин на их поверхностях: внутренние напряжения оказались выше прочности самого электролитического хрома.

Нужно иметь в виду, что молочный осадок имеет наименьшее напряжение. Это зависит от режима: чем выше плотность тока и чем ниже температура электролита, тем выше будут внутренние напряжения хромовых осадков, но в определенных пределах.

После термической обработки детали подвергаются окончательной механической обработке, которая производится обычно путем шлифования. Режим шлифовки применяется обычно следующий: скорость шлифовального круга—20—30 м/сек, подача камня равна 0,2—0,3 от ширины шлифовального камня, поперечная подача 0,02—0,03 мм, скорость вращения изделия 15—20 м/мин.

Шлифовальный круг берется мягкий, зернистостью 46—60. Вообще в сравнении с шлифовкой стальных изделий при шлифовании хрома нужно несколько снизить скорость резания, уменьшить подачу, выбрать более мягкий шлифовальный круг и ввести охлаждение, чтобы уменьшить термическое влияние, которое приводит к отслаиванию хрома вследствие различия коэффициентов линейного удлинения при нагревании хрома и стали или чугуна.

Размерное хромирование. Струйное хромирование

В тех случаях, когда восстанавливаются посадочные места некоторых деталей с небольшими допусками, хромирование таких деталей можно произвести под размер, не применяя последующую механическую обработку.

В эту группу деталей могут входить детали, искажения геометрической формы которых (овальность, конусность и т. д.) не

являются настолько значительными, чтобы можно было применить предварительную шлифовку изделий.

Технологический процесс нужно строить таким образом, чтобы получить покрытия равномерные по толщине с гладкой и чистой поверхностью. Этого можно достигнуть прежде всего для деталей, имеющих простую конфигурацию.

В ремонтной практике размерное хромирование применяется для восстановления соответствующего натяга на наружной поверхности наружных обойм и на внутренней поверхности внутренних обойм подшипников качения.

Прослабление посадки в этих деталях допускается в размерах 0,005—0,05 мм на сторону.

Главной задачей размерного хромирования является равномерность покрытия посадочного места деталей. Очевидно, этого можно достигнуть тогда, когда аноды будут расположены вокруг катода на одинаковом расстоянии и интенсивность силового потока будет везде одинакова. Этого можно достигнуть соответствующим расположением дополнительных анодов, а также катодов и экранов.

На рисунках 18, 19, 20, 21 показаны схемы распределения силовых линий, а следовательно, и распределение хрома в зави-

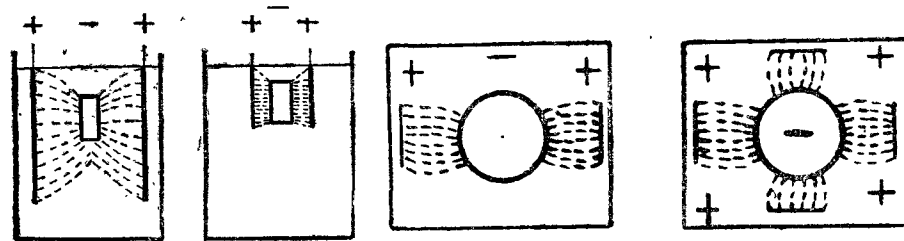


Рис. 18. Влияние глубины погружения детали относительно анода и уровня электролита на распределение тока

Рис. 19. Влияние размещения анодов относительно цилиндрической детали на распределение тока

симости от различных внешних факторов, как-то: от глубины погружения деталей, от размещения анодов, от изолирования участков, оттягивающих на себя силовой поток, и наконец, от способа подвески детали.

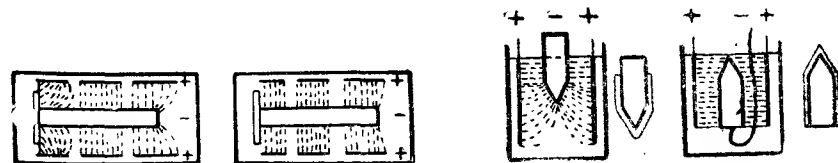


Рис. 20. Влияние рельефа детали на распределение тока. Слева торец не изолирован, справа торец изолирован

Рис. 21. Влияние способа подвески детали на распределение тока

На рисунке 18 показано правильное и неправильное размещение детали, в смысле равномерности покрытия; такая деталь, будучи подвешенной ближе к уровню электролита и своей торцевой плоскостью вровень с нижними краями анодов — покрывается более равномерным по толщине осадком. Там, где силовые линии проходят гуще, хрома будет откладываться больше. Следовательно, на остриях, ребрах и гранях деталей (где концентрируется большая плотность тока) будут образовываться наросты и утолщения хромового осадка.

На рисунке 19 показана образующаяся овальность хромового покрытия на круглой детали вследствие того, что аноды расположены с двух, а не с четырех сторон.

Наконец, если бы вокруг круглой детали поставили наружный цилиндрической формы анод, то равномерность покрытия еще более бы улучшилась. Вообще нужно стремиться к тому, чтобы очертания формы анода соответствовали в возможно большей степени очертаниям сплошной детали.

На рисунках 20 и 21 показано влияние рельефа детали и способа подвески ее.

Чтобы уменьшить образование утолщений осадка на выдающихся частях деталей, применяется экранирование их и установка дополнительных катодов.

Экраны представляют собою дополнительные детали, кольца, шайбы, изготовленные из различных материалов и защищающие выступы, края и ребра отдельных деталей от чрезмерной плотности тока.

Дополнительными катодами — металлическими — обычно являются свинцовые шайбы, пластины и обоймы, также защищающие деталь от чрезмерного хромирования в местах с наибольшим скоплением силовых линий.

Чтобы обеспечить размерное хромирование, необходимо тщательно сконструировать приспособления для подвески. На рисунке 22 изображено приспособление, благодаря которому обеспечивалось размерное хромирование

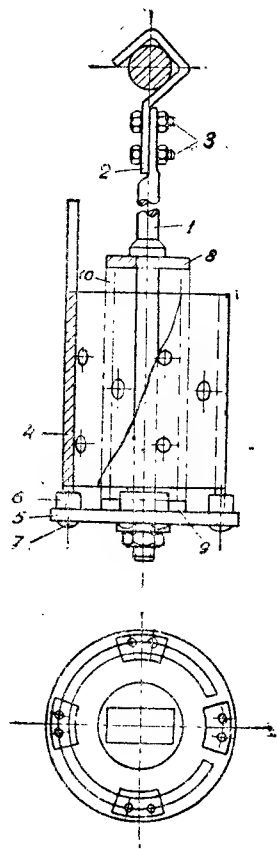


Рис. 22. Подвеска для размерного хромирования поршневых пальцев; 1 — стержень подвески; 2 — крючок подвески; 3 — болты; 4 — анод; 5 — опорная шайба; 6 — кольцо; 7 — винты; 8—9 шайбы; 10 — палец.

изношенных поршневых пальцев, устанавливаемых на двигатель без последующей шлифовки.

Размерное хромирование является очень эффективным мероприятием, так как создается экономия материалов, труда и энергии. Размерное хромирование еще не применяется широко в практике, ставятся опыты только на отдельных деталях, где восстанавливается слой незначительной толщины.

Размерному хромированию можно подвергать подавляющее большинство деталей, имеющих износ посадочных мест, и некоторые трущиеся детали с износом, не превышающим 0,08—0,10 мм на сторону.

Такое хромирование применяют на ремонтных заводах для восстановления монтажных поверхностей подшипников качения, то есть отверстий внутренних обойм и наружной поверхности наружных обойм.

Изношенные подшипники разбираются путем расклепывания сепараторов, а обоймы, подлежащие восстановлению, сортируются на группы с размерами через 0,01 мм, чтобы потом при хромировании можно было получить одинаковый размер обойм.

Если при сортировке выявятся обоймы, имеющие на монтажной поверхности глубокие риски и неровности, то такие обоймы собираются в отдельную группу с тем, чтобы их не подвергать размерному хромированию, так как эти риски при хромировании будут копироваться.

Риски нужно выводить путем шлифования монтажных поверхностей, но в таком случае потребуется нанесение более толстого слоя хрома, поверхность получится шероховатой и потребуются шлифовка обойм после хромирования.

Размерное хромирование обойм производят при температуре электролита 45—55° С и плотности тока 40 а/дм².

Кроме обычного хромирования изделий в ваннах, где электролит окружает изделия, можно осуществлять хромирование путем непрерывного поливания электролитом определенного участка детали.

Такой метод покрытия при помощи постоянно льющейся струи электролита, называется струйным методом.

Струя электролита льется из ванны на вращающуюся деталь. Электролит стекает в нижерасположенный сборник, откуда насосом перекачивается обратно в ванну.

К вращающейся детали подводится минусовой провод, а к наконечнику шланга, из которого вытекает струя электролита подводится плюсовой провод; благодаря таким мероприятиям обеспечивается перенос ионов к электродам, как и в жидкостной ванне.

Струйный метод хромирования может иметь высокую экономичность, прежде всего, в применении его на деталях больших габаритных размеров, которые не помещаются в имеющихся ваннах. Громоздкие детали могут иметь дефект, расположенный на небольшой площади, стоимость таких деталей может быть очень

высокой и поэтому рентабельным окажется и струйное хромирование.

На рисунке 23 приводится схема установки для струйного хромирования, примененная в Одесском политехническом институте (18) для хромирования поршневых пальцев трактора СТЗ-НАТИ.

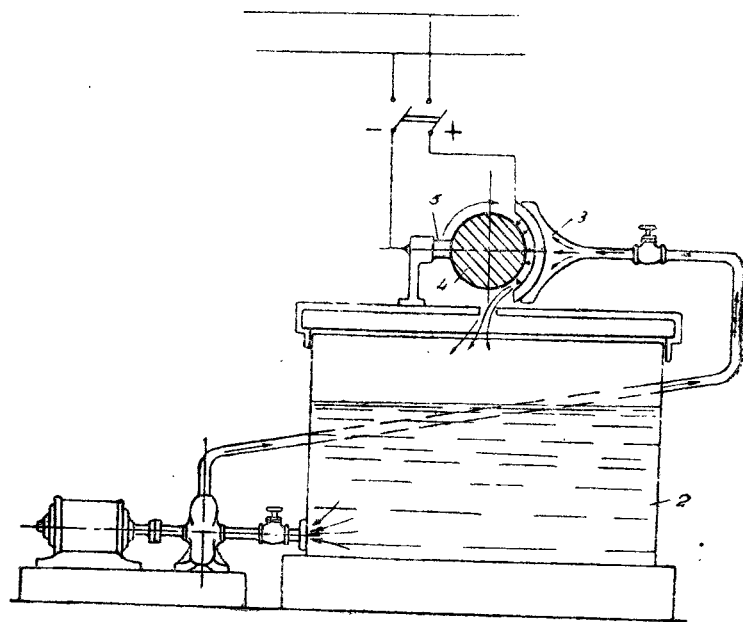


Рис. 23. Схема установки для струйного хромирования: 1—центробежный насос для перекачки электролита; 2—ванна с электролитом; 3—насадка для струйного хромирования; 4—хромируемая деталь; 5—скользящий минусовый контакт

В той части насадки, где вытекает электролит, припаяна свинцовая пластинка — анод с прорезями для протекания струи электролита.

Анод соединяется с положительным полюсом, а деталь при помощи скользящего контакта соединяется с отрицательным полюсом генератора постоянного тока; электрический ток замыкается в цепь через непрерывную струю электролита.

На этой установке (рис. 23) производилось пористое хромирование поршневых пальцев. Износостойкость пористого покрытия значительно больше, чем износостойкость поверхности, полученной при гладком хромировании.

Метод струйного хромирования позволяет применять более высокую плотность тока, в связи с чем увеличивается скорость наращивания; но применение струйного метода для получения толстых осадков — затруднительно.

При струйном методе электролиза вообще, распределение тока не получается равномерным по всей поверхности, так как струя электролита не в одинаковой мере может омывать поверх-

ность детали, да и перенос ионов не может быть равномерным по сечению струи электролита. Поэтому на отдельных участках будет образовываться чрезмерно высокая плотность тока, вызывающая шероховатые и хрупкие осадки. Вследствие этих причин предельная толщина осадков при струйном методе всегда будет в несколько раз меньше предельной толщины осадков, полученных в обычных жидкостных ваннах.

Пористое хромирование

В последние годы в отечественной технике стали применять пористое хромирование и особенно часто для покрытия верхних поршневых колец автотракторного двигателя.

После пористого хромирования поверхность покрытия получается не абсолютно гладкой, как обычно, а густо пересеченной микроскопическими трещинами или каналами.

С этой точки зрения пористое хромирование будет являться весьма ценным методом при ремонте автотракторных деталей, где обычное гладкое хромирование может не обеспечивать нормальных хороших условий смазки.

Сущность пористого хромирования вытекает из того положения, что обычно в результате имеющихся в осадке внутренних напряжений, электролитический хром имеет сетку микроскопических трещин. Эти трещины невидимы и часто находятся в зачаточном состоянии в зависимости от режима хромирования. При некотором изменении режима эти трещины становятся более заметными, а после травления углубляются и резко выделяются на фоне осадка.

Внутри каналов размещаются участки гладкого хрома, каналы образуют целую сетку.

Трещины-каналы сообщаются между собою и таким образом в процессе работы может быть обеспечена подача масла по этим каналам в участки наибольшего трения деталей.

Износостойкость пористого хрома значительно выше износостойкости гладкого хрома, особенно велик выигрыш в условиях граничной, стесненной смазки, что происходит при частичном выгорании масла, при больших местных удельных давлениях или при частых остановках двигателя.

Особенно хорошие результаты в эксплуатации показали примеры применения пористого хромирования для поршневых колец, а также для цилиндров двигателей внутреннего сгорания. Износ пористохромированных цилиндров в 5—6 раз меньше износа стандартных чугунных цилиндров.

На рисунке 24 дано графическое сравнение износов стандартных поршневых колец и цилиндров с износами этих же деталей, покрытых пористым хромом. Хромируются кольца, а цилиндры остаются чугунными, непокрытыми, или наоборот.

Особенно большой эффект дает применение пористого хрома для верхних поршневых колец, которые работают при недостаточной смазке.

В учебном хозяйстве Таганрогского института механизации сельского хозяйства в 1948 г. были проведены полевые испытания тракторов Универсал-2, на которых (9) были установлены, наряду со стандартными чугунными кольцами, и пористохромированные кольца.

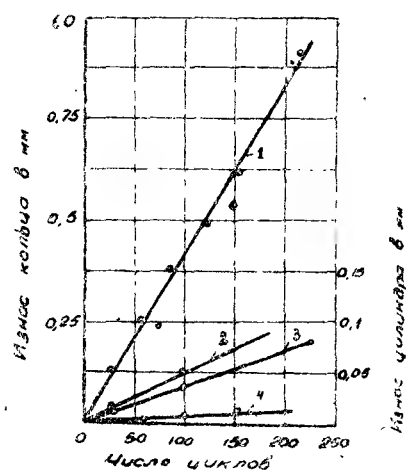


Рис. 24. Результаты сравнительных испытаний на износ при периодической работе двигателей: 1—износ кольца чугунного цилиндра; 2—износ кольца в хромированном цилиндре; 3—4 износы чугунного и хромированного цилиндров.

Результаты этих испытаний приводятся в таблице 15.

Таблица 15

Износы поршневых колец тракторов У-2, приведенные на 100 га мягкой пахоты

Наименование детали	Удельный износ в мм на 100 га пахоты у тракторов								Средний износ
	1	1	2	2	3	3	4	4	
Верхние хромированные поршневые кольца . . .	0,109		0,053			0,088		0,087	0,084
Верхние поршневые кольца, чугунные . .		0,316		0,35	0,344		0,388		0,344

Наблюдения за тракторами У-2 проводились в течение летнего сезона, замер износа колец проводился за сезон три раза, износы по толщине колец замерялись в четырех точках. Средний

износ колец оказался почти в 4 раза больше у обычных чугунных колец, чем у хромированных.

Пористую поверхность хрома можно получить не при всяких условиях, а только при определенных соотношениях плотности и температуры электролита.

На рисунке 25 графически изображается зона осадков, имеющих трещины и зона (6) без сетки трещин.

В действительности переход одной зоны с сеткой трещин в другую зону без сетки трещин происходит постепенно, без скачков, с некоторыми отклонениями от условий, приведенных на рисунке 28. Эта диаграмма имеет приближенный характер. Густота трещин увеличивается с повышением плотности тока и при понижении температуры и концентрации электролита. На густоту сетки каналов влияет также отношение $\frac{CrO_3}{SO_4}$ и наличие в ванне железа и трехвалентного хрома.

Но с увеличением густоты сетки каналов глубина их уменьшается, и это имеет влияние на общую маслосъемность каналов.

Технологический процесс пористого хромирования состоит из операций для гладкого хромирования и дополнительных операций по анодному травлению гладкого хрома.

Принятый в современной практике пористого хромирования электролит содержит CrO_3 250 г/л, H_2SO_4 2,5 г/л. Соотношение между CrO_3 и H_2SO_4 берется равным 100—125. Чтобы получить среднюю густоту сетки каналов, необходимо поддерживать температуру электролита = 55° С и работать при плотности тока = 50—60 а/дм².

При этом режиме осадки будут получаться переходными от блестящих к матовым. Для анодного травления (с целью выявления невидимых на поверхности трещин) можно применять ту же хромовую ванну, а самый процесс производить (6) при температуре 30—40° С и анодной плотности тока = 25—35 а/дм².

Для поршневых колец продолжительность анодного травления может быть взятой = 200—500 а/мин/дм², т. е. при $D_k = 25$ а/дм², продолжительность травления будет от 8 до 20 минут; для гильз цилиндров продолжительность травления от 400 до 750 а/мин/дм². Во втором случае ширина и глубина каналов будет больше и соответственно больше будет удельная маслосъемность 1 дм².

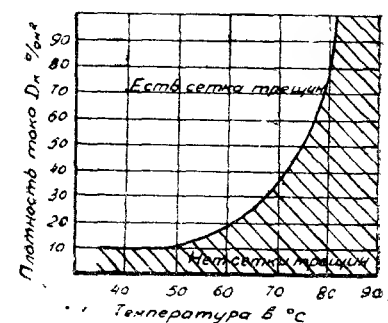


Рис. 25. Диаграмма Ю. П. Федорова

Припуск на механическую обработку после пористого хромирования оставляется не более 0,03—0,05 мм на сторону, чтобы не уменьшать значительно глубину каналов.

Удаление абразивных материалов из пор хрома производится путем тщательной промывки деталей в керосине и в водных эмульсиях, с последующей продувкой их сжатым воздухом.

Приготовление электролита ванн хромирования. Брак при хромировании

Хромовый ангидрид — CrO_3 — представляет собою темно-коричнево-красные игольчатые или призматические кристаллы, легко растворимые в воде; поступает в продажу расфасованным в железных барабанах, емкостью по 25 и 50 кг. Хромовый ангидрид не должен содержать азотной кислоты, малейшее присутствие в ангидриде этой кислоты делает невозможным процесс хромирования.

ГОСТ 3776-47 на хромовый ангидрид определяет наибольшие количества допустимых примесей, метод проверки указывается в этом ГОСТ-е.

Серная кислота для электролита должна быть химически чистой, удельного веса 1,84.

Для растворения хромового ангидрида применяется дистиллированная вода или чистая дождевая вода. Воды наливают в ванну сначала меньше ее рабочей емкости, с тем расчетом, чтобы после растворения соли, фильтрования раствора и доливания в раствор соответствующего количества серной кислоты — не получилось бы электролита больше заданной емкости ванны. Обычно после растворения солей и кислот раствор доливают водой до соответствующей метки на ванне.

Например, если выбран универсальный электролит с концентрацией CrO_3 250 г/л и H_2SO_4 2,5 г/л, и если емкость ванны = 200 литрам, то потребуется хромового ангидрида $0,25 \times 200 = 50$ кг, серной кислоты $0,0025 \cdot 200 = 0,5$ кг, включая сюда и количество кислоты, найденное химическим анализом хромового ангидрида, и воды — остальное количество до 200 литров.

Таким образом, получится 250 г CrO_3 и 2,5 г серной кислоты на один литр раствора.

После того, как электролит будет приготовлен, производится предварительная проработка его, из расчета 25—50 а-часов на литр раствора.

Чтобы сделать более стойкой поверхность свинцовой облицовки, при пуске новой ванны, облицовку включают в качестве анода на 1—2 часа; при этом на облицовке создается пленка из перекиси свинца.

Для нормальной работы, хромовый электролит должен содержать в себе до 10 граммов на литр трехвалентного хрома; при наличии его раствор из красного цвета переходит в темно-красный.

Начальное накопление трехвалентного хрома производится в процессе проработки новой ванны; для этого на катодные штан-

ги завешивается большое количество свинцовых пластин, а на анодные штанги завешивают значительно меньше (в 3—5 раз) свинцовых пластин. На катоде будет происходить восстановление шестивалентного хрома до трехвалентного, а на аноде обратный процесс будет замедляться, вследствие малой поверхности анодных пластин, и поэтому количество трехвалентного хрома в ванне будет постепенно увеличиваться.

Проработка ванны ведется в течение 6—10 часов, оптимальное количество трехвалентного хрома определяется химическим анализом или пробным хромированием. С увеличением количества трехвалентного хрома (Cr_2O_3) в растворе увеличивается напряжение ванны, уменьшается рассеивающая способность и сужается область блестящих осадков.

Концентрацию хромового ангидрида в процессе эксплуатации можно определять по удельному весу электролита; соотношение между концентрацией и удельным весом указывается в таблице 16.

Таблица 16

Соотношение между концентрацией хромового ангидрида и удельным весом электролита при 15°C

Концентрация CrO_3 г/л	Удельн. вес электролита	Концентрация CrO_3 г/л	Удельн. вес электролита	Концентрация CrO_3 г/л	Удельный вес электролита
85	1,06	157	1,11	257	1,18
100	1,07	185	1,13	286	1,20
115	1,08	200	1,14	300	1,21
130	1,09	230	1,16	360	1,25

Химический анализ составляющих хромового электролита производится на содержание шести- и трехвалентного хрома и примесей металлов; методика анализа указывается в специальной литературе.

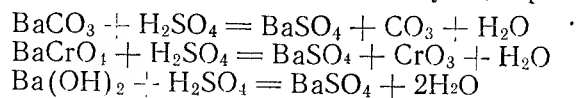
Если в процессе дальнейшей работы окажется в ванне избыток трехвалентного хрома, то освобождение от него производится путем длительной проработки ванны с чистыми анодами и случайными катодами; при этом площадь анодных пластин должна быть значительно больше, чем площадь катодных пластин. В таком случае в анодном пространстве осуществляется интенсивное окисление трехвалентного хрома.

В этих же целях окисление трехвалентного хрома в шестивалентный можно сделать путем введения в электролит перекиси водорода или перекиси натрия.

При введении перекиси водорода трехвалентный хром окисляется до шестивалентного.

Для удаления избыточного количества серной кислоты вводят в электролит соли бария, которые в соединении с серной кислотой образуют сульфат бария, выпадающий в виде осадка на

дно сосуда. Можно вводить углекислый барий или гидроокись бария; при этом смешивании возникают следующие реакции:



Для удаления избытка 1 кг серной кислоты требуется 2,1 кг углекислого бария или 2,6 кг хромовокислого бария. Процесс осаждения ведется в течение суток, электролит для этого подогревается. Осадок отстаивается, а чистый электролит сливается в другую посуду.

В процессе хромирования могут получаться неудачные отложения и тогда возникнет необходимость удаления этих осадков. Для этих целей можно применить электрохимический способ удаления хрома в щелочном электролите (10% NaOH) или в декапировочной хромовой ванне; детали завешиваются на анод, на котором хромовые осадки в процессе электролиза растворяются. Ванна хромирования, как в начальный период после составления хромового электролита, так и в процессе дальнейшей ее эксплуатации, может дать недоброкачественные осадки. Такой недостаток получается или в результате порчи хромовой ванны, или в результате применения неправильных режимов работы со стороны хромировщика. Темные и пригоревшие осадки образуются вследствие повышенной плотности тока или низкой температуры, вследствие избытка трехвалентного хрома или вследствие недостатка в ванне H_2SO_4 . На анодах может образоваться толстый слой перекиси свинца, они пассивируются и в таком случае аноды нужно очищать стальной щеткой.

Загрузка холодных деталей в ванну под током, без подогрева их, создает условия ненормального электролиза на пониженной температуре, что также вызывает получение пригоревших осадков.

Шелушение и разрыв хромовых осадков, особенно на выступающих частях деталей, получаются при повышенной плотности тока и несоответствия его выбранной температуре, вследствие слабого контакта со штангой некоторых деталей.

Если детали частично не покрываются хромом, то нужно тщательно проверить контакты с катодными штангами, проверить наличие на анодах перекиси свинца и проверить плотность тока — она может оказаться заниженной. При плохой рассеивающей способности ванны, отдельные участки деталей также могут не покрываться хромом, так как распределение плотности тока на катоде слишком неравномерно.

Внешним признаком образования корки перекиси свинца или хромовокислого свинца на анодах является повышенное напряжение на шинах ванны или колебание силы тока.

Образование темных полос и точек на деталях указывает на недостаток серной кислоты, избыток же кислоты, наоборот, характеризуется снижением кроющей способности ванны.

Систематическое повышение количества Cr_2O_3 в электролите

указывает на то, что применяется высокая анодная плотность тока и что для исправления этого необходимо (сохраняя в остальном режим прежним) увеличить анодную поверхность.

Вздутие хромового осадка на деталях вызывается плохой очисткой их перед хромированием или загрязнением электролита твердыми частицами. Контроль ванны нужно производить два раза в месяц — проверить удельный вес электролита, наличие серной кислоты и трехвалентного хрома в растворе.

Технологический процесс ремонта автотракторных деталей способом хромирования. Отдельные примеры хромирования

Номенклатура деталей, восстанавливаемых способом хромирования, является довольно разнообразной, но тем не менее, их можно разбить на несколько типовых групп:

- 1) посадочные места автотракторных деталей;
- 2) подвижные сопряжения деталей простой формы;
- 3) подвижные сопряжения деталей, имеющих сложную конфигурацию;
- 4) прочие детали.

Первая группа деталей является наиболее многочисленной и для нее характерны очень малые износы, определяющие только степень прослабления посадки.

Сюда входят такие детали, как посадочные поверхности обойм подшипников качения, посадочные шейки валов коробки передач, заднего моста и других агрегатов машины: посадочные места различных втулок, гнезд подшипников в трансмиссии, ступиц и т. д. Восстановление деталей этой группы является наиболее экономичным, так как здесь требуется небольшая толщина наращивания хрома, и многие детали из этой группы могут ремонтироваться путем размерного хромирования с исключением операций по шлифовке. Значительно сокращаются затраты по рабочей силе.

Во вторую группу входят трущиеся детали, имеющие как знакопеременную, так и постоянную по направлению нагрузки. К деталям простой формы могут быть отнесены: поршневые пальцы, шейки кулачковых валов, шейки коленчатых валов простой формы (если их износ достигает последнего ремонтного размера), шейки валов трансмиссии трактора, расположенные в подшипниках скольжения, гильзы цилиндров по внутренней поверхности, стержни клапанов, шейки валиков коромысел, валиков водяного насоса и вентилятора и т. д.

Восстановление шеек коленчатых валов и шеек других валов обычно производится не хромированием, а путем шлифования под ремонтные размеры. Этот метод ремонта является наиболее дешевым методом, поэтому применять хромирование для таких деталей следует только в том случае, когда деталь уже вышла из ремонтных размеров или когда изношена и сошлифована твердая поверхностная корка, созданная или путем цементации, или путем поверхностной закалки деталей.

Допускать в эксплуатации большие износы деталей 2-й группы нецелесообразно, так как тогда наращивание толстых слоев хрома будет очень затруднительно, гораздо экономичнее произвести ремонт два раза, но зато наращивать небольшую толщину хрома.

В третью группу автотракторных деталей входят детали, имеющие сложную форму; для них потребуется более сложной конструкции подвески, фигурные аноды, применение защитных приспособлений и более сложная механическая обработка.

В эту группу входят кулачки распределительных валов и кулачки другой формы, многоопорные коленчатые валы, поворотные кулачки, чашки дифференциала, шлицевые пазы и т. д.

Разнообразные случаи применения хромирования деталей и инструмента, не имеющих типовых форм и являющихся единичными, мы относим к четвертой группе. Сюда включаются напильники и детали больших размеров, для которых требуется струйное хромирование.

Разберем технологический процесс ремонта отдельных деталей с каждой группы.

Промежуточный вал коробки передач трактора С-80.

Посадочные места под подшипники

Согласно техническим условиям, обоймы подшипников на промежуточный вал ставятся с натягом до 0,04 мм; при дефектовке прослабление посадки не допускается.

Технологический процесс ремонта промежуточного вала состоит из следующих ремонтных операций (применяется размерное хромирование):

- 1) полировка шеек на полировочном станке с целью оживления поверхности;
- 2) закрепление подвески на детали. Деталь имеет простую форму и подвеска может быть взята в виде медной шины или прутка, припаянного к одному концу детали;
- 3) обезжиривание детали в горячем растворе щелочи;
- 4) промывка детали в воде;
- 5) покрытие напоян-лаком участков, не подлежащих хромированию;
- 6) декапирование детали в хромировочной ванне в течение 1—2 мин, с целью удаления окисной пленки на поверхности шейки вала;
- 7) хромирование при плотности тока 35 а/дм² и температуре электролита 55° С, когда получается блестящий осадок. Вал завешивается в вертикальном положении, каждая шейка хромируется поочередно. Аноды ставятся с четырех сторон шейки вала на расстоянии 120—150 мм в виде огибающих деталь пластин, или же в виде сплошного наружного цилиндра. На торцах шейки ставится экран. Деталь хромируется около 1 часа, в зависимости от потери натяга;

8) промывка в дистиллированной воде, с целью сбора раствора хромовой кислоты;

9) промывка в проточной воде;

10) демонтаж подвески и удаление изоляционного лака;

11) сушка детали;

12) контроль, проверка размеров.

Поршневый палец ЗИС-5

Поршневый палец хромируется с целью восстановления его до ремонтного или номинального размера, в котором он находился до хромирования. Хромируется палец с припуском на шлифовку, шлифуется до хромирования с целью удаления овальности и неравномерной выработки на концах.

Пальцы завешиваются на специальную подвеску.

Технологический процесс складывается из следующих операций:

1. Шлифовка изношенных пальцев с целью удаления искажения формы детали. Шлифовка производится на круглом шлифовальном станке на всю длину.
2. Покрытие торцев изоляционным лаком.
3. Электролитическое анодное обезжиривание в щелочной ванне.
4. Промывка в воде.
5. Завеска на подвесное приспособление.
6. Декапирование в хромировочной ванне.
7. Хромирование на толщину слоя 0,15—0,18 мм в течение 3—4 часов, температура электролита 65° С, плотность тока 50 а/дм², осадок блестящий или близкий к молочному.
8. Промывка в дистиллированной воде.
9. Промывка в проточной воде.
10. Демонтаж деталей с подвески и снятие изоляционного лака.
11. Сушка деталей.
12. Шлифовка деталей под прежний номинальный или ремонтный размер. Припуски на шлифовку даются 0,03—0,04 мм на сторону. Шлифовка ведется на круглошлифовальном станке при несколько уменьшенной скорости и подаче в сравнении с принятыми для шлифовки стальных изделий.
13. Полировка пальцев на этом же станке без поперечной подачи в течение 3—5 проходов.
14. Контроль деталей.

Коленчатый вал четырехцилиндрового двигателя.

Хромирование шатуновых и коренных шеек

Коленчатый вал вышел из ремонтных размеров или, в результате нескольких шлифовок, удалена закаленная поверхностная корка.

Вследствие того, что деталь имеет более сложную форму чем предыдущие, применяется специальное приспособление, на котором вокруг каждой шейки вала развешиваются фигурные аноды.

Аноды — из свинцовых пластин, загнутых вокруг шеек. Ванна завешивается в горизонтальном положении.

Технологический процесс осуществляется при следующей последовательности операций:

1. Шлифовка шатунных или коренных шеек с целью вывода овальности и конусности их. Скорость резания 25—30 м/сек., поперечная подача на каждый проход 0,02 мм, скорость вращения изделия 15—20 м/мин, продольная подача — ручная. Шлифовка ведется с обильным охлаждением эмульсионной водой.

2. Завеска вала на приспособление в виде рамки, которая подвешивается потом вместе с валом на катоде.

3. Протирка шеек бензином.

4. Изоляция участков, не подлежащих хромированию, лак наносится 2—3 раза с последующей сушкой.

5. Зачистка шеек шкуркой, с целью оживления.

6. Обезжиривание путем ручного протираания шеек густым раствором венской извести.

7. Промывка в воде.

8. Установка на приспособление фигурных анодов, расположенных вокруг шеек вала.

9. Декапирование в хромированной ванне (1—2 мин).

10. Хромирование вала при температуре 65—70° и Дк = 50 а/дм², толщина осадка = 0,20 мм.

11. Промывка в воде.

12. Демонтаж с подвески и снятие изоляционного лака.

13. Шлифовка вала под окончательный размер. Скорость резания 20—25 м/сек, поперечная подача 0,01—0,02 мм, число оборотов вала 30; полировка шеек на этом же станке без поперечной подачи в течение 3—5 проходов.

14. Контроль деталей, проверка размеров.

Хромирование применяется также и при восстановлении измерительного и режущего (метчики, напильники) инструмента. Электролит для этого применяется «средний»: CrO₃ 250 г/л H₂SO₄ — 2,5 г/л, Дк = 40—50 а/дм²; температура раствора 50—55° С.

Оборудование хромировочного отделения

Главным оборудованием каждого гальванического отделения являются ванны, в которых происходит наращивание деталей и производится химическая обработка деталей, как-то: обезжиривание, травление, промывка деталей в горячей и холодной воде.

На рисунке 26 показана общая принципиальная схема ванны хромирования.

Подогрев горячих ванн осуществляется в обычной практике паром, который пропускается по змеевику, расположенному обычно на дне водяной рубашки, или путем преобразования электрической энергии в тепловую, через спирали накаливания или через жидкостное сопротивление водяного столба между двумя ножами, расположенными в водяной рубашке.

Если нагрев электролита производится паровым змеевиком, расположенным на дне водяной рубашки, как показано на рисунке 26, то необходимая длина его определится из удельного расхода тепла на ванну и удельной теплоотдачи с поверхности паропровода. При расчете нужно задаваться временем, допускаемым на первоначальное нагревание ванны.

Общий расход тепла, затрачиваемого на подогрев ванны, составит:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \text{ ккал.}$$

Q_1 — расход тепла на нагрев электролита в ккал;

Q_2 — расход тепла на нагрев воды в водяной рубашке в ккал;

Q_3 — расход тепла на нагрев корпуса ванны и свинцовой оболочки в ккал;

Q_4 — тепловые потери ванны в окружающую среду в ккал;

Q_5 — потери тепла поверхностью электролита и на испарение, в ккал;

Расход тепла на нагрев электролита будет равен:

$$Q = q_1 C_1 (t_2 - t_1) \text{ ккал, здесь:}$$

q_1 — вес хромового электролита в кг;

C_1 — теплоемкость электролита в $\frac{\text{ккал}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$;

t_2 — конечная температура нагрева раствора;

t_1 — начальная температура раствора.

Расход тепла на нагрев воды в рубашке:

$$Q_2 = q_2 C_2 (t_2 - t_1) \text{ ккал.}$$

Расход тепла на нагрев корпуса ванны и свинцовой оболочки:

$$Q_3 = (q_3 C_3 + q'_3 C'_3) (t_2 - t_1) \text{ ккал.}$$

q_3 и q'_3 — вес корпуса ванны и свинцовой облицовки в кг;

C_3 и C'_3 — теплоемкость материала ванны и теплоемкость материала облицовки в $\frac{\text{ккал}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$

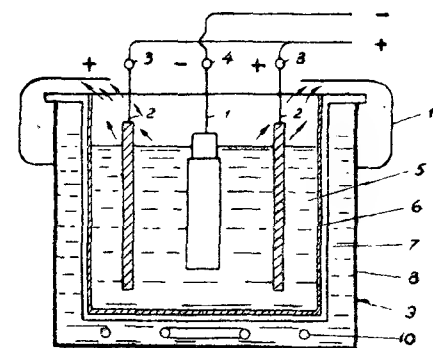


Рис. 26. Общая схема ванны хромирования 1—хромируемая деталь; 2—свинцовые аноды (пластины 3—4 мм толщины); 3—анодные штанги; 4—катодная штанга; 5—электролит хромовый; 6—свинцовая облицовка внутренней ванны; 7—внутренняя ванна; 8—водяная рубашка; 9—наружная ванна; 10—пароподогреватель; 11—бортная вытяжка

Тепловые потери ванны в окружающую среду складываются из потерь на лученспускание, конвекцию и теплопроводность. Общие потери будут равны:

$$Q_4 = K \cdot S (t_3 - t_b) \text{ ккал/час.}$$

K — общий коэффициент теплопередачи от поверхности ванны к воздуху вследствие теплопроводности, конвекции и лучеиспускания; для железа может быть принят (при разности температур 30—35°, в зависимости от шероховатости стенок ванны) равным 6,7—9,4;

S — поверхность стенок ванны в кв. м;

t_3 — конечная температура электролита в °С;

t_b — температура окружающего воздуха в °С.

Потери тепла поверхностью электролита (на испарение):

$$Q_5 = K' S' (t_3 - t_b) \text{ ккал/час;}$$

K — коэффициент теплоизлучения электролита (10) =

$$= 3,2 \frac{\text{ккал}}{\text{час}^\circ\text{С}}$$

S' — поверхность зеркала электролита в кв. м;

t_3 и t_b — температура электролита и окружающего воздуха в °С.

Считая, что время, необходимое для разогрева ванны, может быть допущено = 1 часу, и что тепловые потери Q_4 и Q_5 приняты для конечных температур, тогда как нарастание их идет постепенно, то в среднем можно считать, что только половина найденного тепла расходуется на разогрев. Тогда общий расход тепла на разогрев ванны составит:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \frac{Q_4}{2} + \frac{Q_5}{2} =$$

$$= q_1 C_1 / t_2 - t_1 + q_2 C_2 t_2 - t_1 + q_3 C_3 + q_4 C_4 \cdot$$

$$t_3 - t_b + \frac{k \cdot s (t_3 - t_b)}{2} + \frac{k' s' (t_3 - t_b)}{2} \text{ ккал/час.}$$

Учитывая еще потери тепла в трубопроводах в размере 50%, в итоге получим:

$$Q_{\text{общ.}} = Q \cdot 1,05 \text{ ккал/час.}$$

Расход пара составит:

$$Q_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{общ.}}}{648 \frac{t_2 + t_1}{2}} \text{ кг пара,}$$

где 648 ккал — теплосодержание 1 кг пара.

После разогрева ванны постоянный расход тепла в процессе работы складывается только из тепловых потерь ванны Q_4 и Q_5 .

Нужно учесть при этом, что часть электрической энергии, поступающей на электролиз (до 10%) идет на выделение тепла и согласно закону Джоуля-Ленца составит:

$$Q_6 = 0,24 J E t \text{ кал.}$$

J — сила постоянного тока, направленного на электролиз, в амперах;

E — напряжение постоянного тока на шинах ванны, в вольтах;

t — время электролиза в секундах.

Это тепло может частично компенсировать тепловые потери ванны в процессе электролиза. Если ванна подогревается паровым змеевиком, то общая потребная поверхность змеевика будет равна:

$$S = \frac{1,05 \cdot Q}{\alpha \left(\frac{t_1 + t_2}{2} - \frac{t_3 + t_1}{2} \right)} \text{ м}^2, \text{ здесь:}$$

S — общая поверхность змеевика в м²;

α — коэффициент теплоотдачи змеевика для железа можно

$$\text{принять} = 500 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ час. град.}}$$

T_1 — температура пара, входящего в змеевик в °С;

T_2 — температура пара, выходящего из змеевика в °С;

t_2 — конечная температура электролита в °С;

t_1 — начальная температура электролита в °С.

Q — общий расход тепла на нагрев ванны.

Если змеевик находится внутри электролита, то в расчет следует принимать количество тепла, необходимого собственно на нагревание электролита.

Можно принять диаметр трубы паропровода равным в среднем 1".

Потребную длину змеевика получим равной:

$$L = \frac{S}{\pi D} \text{ м, где:}$$

D — диаметр трубы в метрах;

L — длина змеевика в метрах.

Если подогрев ванны производится при помощи электрических нагревателей со спиралями накаливания, то размеры этих спиралей можно рассчитать следующим образом.

Сначала производится тепловой расчет ванны, определяются потери тепла и, задаваясь временем разогрева ванны, находится общее количество тепла, потребное для разогрева ванны — $Q_{\text{общ.}}$. Первоначальный расход тепла на нагрев будет больше установленного в процессе расхода тепла, компенсирующего тепловые потери. После этого определяется мощность электрического нагревателя и подбирается материал для изготовления спиралей накаливания.

Соотношение между электрической и тепловой энергией определяется по закону Джоуля-Ленца; подставляя в это равенство определенный выше расход тепла в малых калориях и время в секундах, получим:

$$Q_{\text{общ.}} 1000 = 0,24 \cdot I E 60 \cdot 60 \eta, \text{ где:}$$

η — коэффициент, учитывающий потери электричества — 0,9, откуда потребная для нагревателя сила тока равна:

$$I = \frac{Q_{\text{общ.}} 1000}{0,24 \cdot E \cdot 60 \cdot 60 \cdot 0,9} \text{ ампер.}$$

Мы приняли время для разогрева ванны хромирования равным 1 часу.

По потребной силе тока и имеющемуся напряжению сети определяется электрическая мощность нагревателя.

Диаметр проволоки подбирается по силе тока, потребной при данном напряжении сети для получения расчетной мощности нагревателя. При этом исходят из допускаемой температуры нагрева.

Необходимый диаметр проволоки, исходя из максимального нагрева ее не более 500°C , можно ориентировочно определить также по эмпирической формуле (10):

$$d_3 = \frac{0,0405 \cdot \rho \cdot W^2}{B \cdot E^2} \text{ мм, где:}$$

d — диаметр проволоки в мм;

ρ — удельное сопротивление проволоки.

W — мощность нагревателя в ваттах;

B — удельная нагрузка в вт/см^2 поверхности; для нихромовой проволоки, в нашем случае, можно принять равной 3,5; для нихромовой ленты допускается более высокая удельная нагрузка;

E — напряжение сети в вольтах.

В целях лучшего регулирования степени нагрева общая длина спиралей делится на несколько секций, тогда потребная сила тока на каждую секцию будет равна:

$$I_c = \frac{I}{n},$$

где n — число секций.

Отсюда сопротивление каждой секции будет равно:

$$r = \frac{E}{I_c}$$

Тогда потребная длина проволоки на одну секцию составит:

$$l = \frac{r \cdot q}{\rho} \text{ м, где:}$$

l — общая длина спирали одной секции в м;

r — общее сопротивление на одну секцию в омах;

q — потребное сечение проволоки в мм^2 ;

ρ — удельное сопротивление проволоки;

Электрический подогрев рекомендуется применять для ванн хромирования в крайних случаях и лишь для небольших ванн. В подавляющем же большинстве случаев следует применять пароподогрев, применение которого на практике оправдывает себя в достаточной степени.

Хромировочные ванны изготавливаются двойными (наружная и внутренняя ванны), между которыми обычно находится водяная рубашка. Электролит размещается во внутренней ванне, стенки которой от кислотного разъедания защищаются свинцовой облицовкой. Эта облицовка изготавливается непроницаемой для электролита из листового свинца, толщиной 3—4 мм. В некото-

рых случаях на практике не делают свинцовую облицовку, а применяют внутреннюю ванну, изготовленную из 5—6-миллиметрового железа, сварную без облицовки, в которую и заливается непосредственно электролит.

Так как электролит имеет невысокую кислотность, которая определяется наличием кислоты в растворе от 1,5 г/л до 2,5 г/л (в зависимости от концентрации хромового ангидрида), то скорость растворения электролитом стенок внутренней железной ванны будет незначительной. Поэтому и срок службы железной ванны будет достаточным, чтобы иметь экономию на свинце и оправдать затраты на изготовление.

Нужно иметь в виду, что в электролите постепенно будут накапливаться примеси железа и на катоде вместе с хромом возможно соосаждение и железа. Наличие небольшого количества железа в хромовом осадке не снизит его качества, во всяком случае пригодность этих осадков для ремонта деталей — бесспорна.

Можно считать безвредным, вернее допустимым, в электролите присутствие солей железа в количестве до 30—40 г/л. Не следует допускать в процессе эксплуатации избыток серной кислоты, который портит осадок.

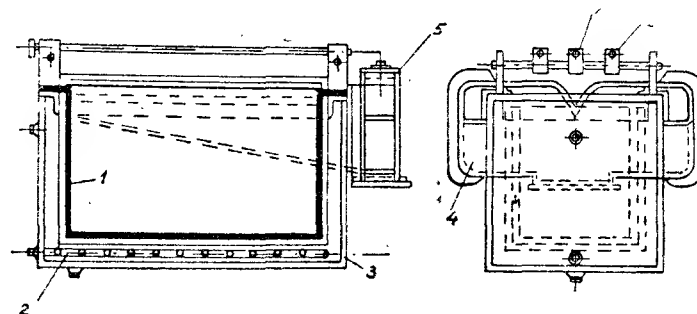


Рис. 27. Эскиз ванны хромирования: 1—внутренняя ванна со свинцовой облицовкой; 2—пароподогреватель; 3—наружная ванна; 4—бортовая вытяжка; 5—задний отсос воздуха; 6—анодные штанги; 7—катодная штанга.

На рисунке 27 дается эскиз общепринятой конструкции хромировой ванны.

Наружные и внутренние ванны изготавливаются из 3 мм железа, сварные, емкостью 100—200—300 и более литров; между этими ваннами находится просвет шириной 50—70 мм, в котором располагается водяная рубашка. Просвет между дном наружной ванны и дном внутренней ванны берется больше, чтобы там свободно располагался змеевик пароподогревателя. Подогрев воды в водяной рубашке осуществляется теплоотдачей от парового змеевика, внутри которого проходит пар, или же путем непосредственного пропускания пара низкого давления в полость водяной рубашки. Последний способ подогрева электролита более интенсивный и не требует змеевика, а устанавливается только подвод

пара и выход его. Просвет между ваннами сверху должен быть в этом случае плотно закрыт.

Катодные и анодные штанги устанавливаются на изоляторах, прикрепленных на бортах ванны. Анодные штанги располагаются в два ряда, нижний ряд вдоль ванны, и верхний ряд поперек ванны для размещения на них, в последнем случае, дополнительных анодов с двух других сторон при размерном хромировании деталей.

Анодные и катодные штанги представляют собой медные или латунные трубки, диаметром 15—30 мм. Расстояние между анодными и катодными штангами берется из такого расчета, чтобы расстояние между анодной пластинкой и крайней поверхностью детали, в процессе электролиза, было бы не менее 80—100 мм.

Чем ближе эти штанги, тем хуже рассеивающая способность ванны. Чем больше размеры хромируемых деталей, тем больше расстояние между штангами.

В таблице 17 приводятся унифицированные размеры ванн для гальванических процессов, осуществляемых с подогревом электролита.

Таблица 17

Унифицированные размеры ванн

Размеры ванн в мм, исключая бортовые отсосы			Полезный объем в л	Вес ванны с отсосом и облицовкой в кг	Поверхность нагрева змеевика м ²
длина	ширина	высота			
450	350	450	63	—	0,10
600	500	600	150	129	0,16
800	600	600	240	164	0,23
1000	600	600	300	197	0,36
1000	800	800	560	271	0,50

Размер хромировочной ванны определяется суточной нагрузкой ее и наибольшими габаритами хромируемых деталей.

Ориентировочный выбор ванны можно произвести по приведенным в таблице 17 типовым размерам ванн.

В процессе хромирования интенсивно выделяется водород и кислород и с этими газами увлекаются и мельчайшие частицы хромового электролита; такие выделения являются весьма вредными для здоровья рабочего. Поэтому для ванн хромирования обязательно устройство бортовой вентиляции; наличие вытяжного зонта никакой пользы не может принести для этой ванны.

В таблице 18 приводятся нормы отсоса воздуха с 1 м² поверхности электролита для разных процессов.

Кратность обмена воздуха в хромировочном помещении берется 8—10-кратной в час. Щели в бортовых отсосах не должны

Таблица 18

Нормы отсоса воздуха от ванн в м³/мин. с 1 м² поверхности ванн

Скорость воздуха в щели бортов отсоса в м/сек.	Назначение ванны	При ширине ванны в мм				Температура электролита в °С
		до 500	600—700	800—900	1000	
10—14	Хромирование	75	85—95	95—100	105	45—55
7—9	Ванны с кислым электролитом . .	30	35	35	35—40	20—40
"	Ванны обезжиривания	30	45—50	50—55	55	70—80
	Травление в серной кислоте до 30%	45	45—50	50—60	60—65	40—60
	Шлифование и полирование—с 1 мм диаметра круга,—2—2,5 м ³ /час					

превышать 40 мм. Бортовые и задние отсосы изготавливаются из листового железа, покрытого асфальтовым лаком. Уровень электролита в хромировочной ванне ниже верхнего края ванны на 150—200 мм; покрываемые участки деталей должны быть ниже уровня электролита на 80—100 мм. Нижние концы деталей не доходят до дна внутренней ванны на 80—100 мм.

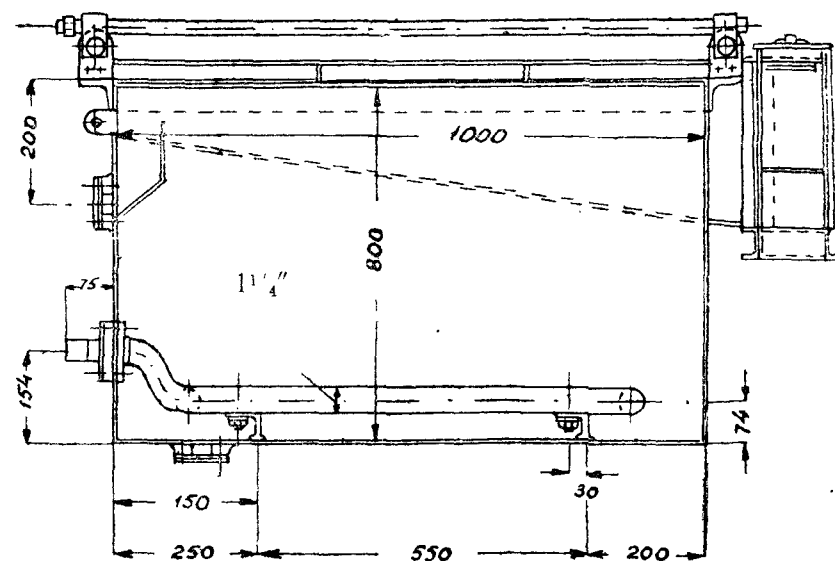


Рис. 28. Эскиз ванны для электролитического обезжиривания

Ванны для обезжиривания (для горячей и холодной воды) изготавливаются путем сварки, из 3—4 миллиметрового листового железа. На рисунке 28 показана ванна для электролитического обезжиривания.

Вентиляционный кожух этой ванны сделан с двух сторон, как и в ванне хромирования. Подогрев ванны осуществляется змеевиком, проложенным на дне ванны обезжиривания, в электролите.

Слив щелочного электролита и очистка ванны производится при открытии нижнего штуцера. У одной из торцевых стенок ванны устроен сливной карман; в этот карман попадает всплывающая при нагреве грязь и жировая пена, откуда через отверстие стекает в канализацию.

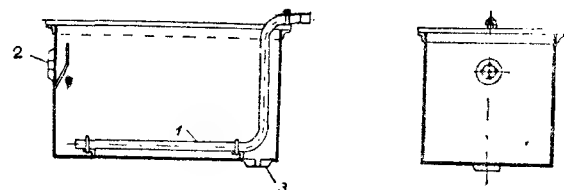


Рис. 29. Эскиз ванны для промывки деталей холодной водой

На рисунке 29 дан эскиз ванны для промывки деталей холодной водой. Поступление воды происходит через трубу с отверстиями, расположенную на дне ванны, слив воды идет непрерывно через сливной карман и отверстие 2. Слив воды и очистка ванны — через нижнее отверстие. Ванна сварная из 3-миллиметрового железа.

Источниками постоянного тока обычно являются мотор-генераторы, установленные обычно отдельно, в другой комнате, рядом с хромировочными ваннами. В качестве генераторов применяются низковольтные динамомашин, дающие ток силой от 250 до 1500 ампер, при напряжении 6/12 вольт.

В целях удобства работы желательно ставить к каждой хромировочной ванне отдельный мотор-генератор, а не питать несколько ванн от одного генератора. Во всяком случае каждая ванна должна иметь отдельные реостаты и отдельные измерительные приборы.

Для подведения тока к ваннам, устанавливаются толстые (чтобы уменьшить потери тока на сопротивление) медные или алюминиевые шины.

В целях регулирования тока в сеть шунтовой обмотки генератора включают шунтовые реостаты или же на выходе тока ставятся, преимущественно, рубильниковые реостаты. Рубильниковые реостаты состоят из однополюсных рубильников, включенных на каждую секцию реостата; сопротивления включаются параллельно.

На рисунке 30 дается схема включения рубильникового реостата; каждый однополюсный рубильник принадлежит своей секции, рассчитанной на определенную силу тока.

При включении одного первого рубильника к ванне будет поступать ток минимального значения, например, 5—10А. При включении второго рубильника поступает ток большей силы, например 15—25А; при включении всех секций, к ванне будет поступать максимальный ток.

Максимальный ток при наименьшем сопротивлении в цепи, будет равен:

$$I_{\max} = \frac{E}{R_0};$$

А минимальный ток, при наибольшем сопротивлении реостата:

$$I_{\min} = \frac{E}{R_0 + r}$$

Здесь: E — напряжение на шинах ванны;

R_0 — сопротивление (постоянное) в цепи ванны;

r — сопротивление (общее) реостата.

Кроме ванн основных и вспомогательных в гальваническом отделении устанавливается силовое оборудование, обычно состоящее из мотор-генератора, вентиляционное оборудование, состоящее из вентилятора, вентиляционных труб, задвижек, отсосов и электромоторов, приводящих в движение вентиляторы. Кроме того ставятся полировальные станки. Отделение располагает также различными приспособлениями, на которых подвешиваются детали.

Обычно подготовительное отделение, где производится полировка и зачистка деталей, устраивается отдельно от ванного отделения. Силовое оборудование обычно устанавливается также отдельно.

На рисунке 31 дается примерная типовая схема расстановки оборудования гальванического цеха, в котором производится хромирование и железнение деталей. Эти два процесса не исключают друг друга, так как имеются хорошие качества в каждом процессе и их нужно полнее использовать для технологии ремонта машин.

Меднение и никелирование имеют подсобное значение и хотя эти ванны не всегда будут загружены, тем не менее их нужно проектировать для типового гальванического отделения.

Предложенная расстановка оборудования является примерной, ориентировочной и в конкретных случаях может изменяться, но только при этом нужно учитывать, что механическая подготовка и силовое оборудование ставятся в отдельных помеще-

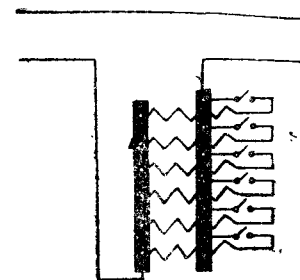


Рис. 30. Схема включения секций рубильникового реостата

ниях, что расстановка ванн должна быть согласована с технологическим процессом без встречных движений деталей.

Гальванические цехи относятся к категории вредных цехов. вследствие выделения ваннами различных газов, как-то: водорода, хлора, паров хромовой кислоты и т. д.

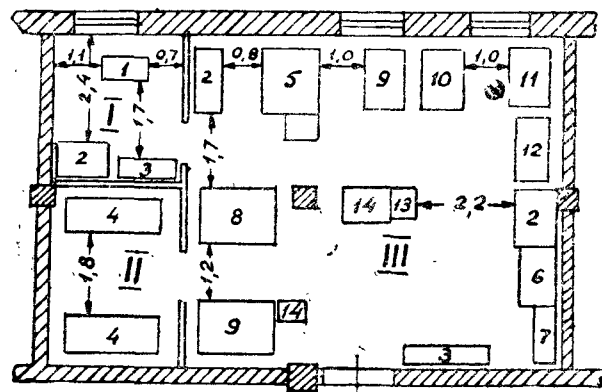


Рис. 31. Схема расстановки оборудования гальванического цеха I. Подготовительное отделение: 1—полировальный станок; 2—рабочий стол; 3—стеллаж для деталей. II—Силовое отделение: 4—моторы-генераторы; III. Гальваническое отделение: 5—ванна для декапирования; 6—верстак слесарный; 7—шкаф для химикатов; 8—ванна хромирования; 9—ванна обезжиривания; 10—ванна для меднения; 11—ванна для никелирования; 12—ванна для опилок; 13—ванна для венской извести; 14—ванна для воды.

Вследствие этого все ванны должны быть обеспечены хорошей вентиляцией, обеспечивающей отсос вредных газов по заданным нормам отсоса.

Рабочие, обслуживающие гальванический цех, снабжаются спецодеждой, резиновыми перчатками, респираторами (необходимыми при корректировках ванн, при растворении стружки и т. д.) и очками.

Рабочим выдается дополнительное питание — молоко и масло.

В цехе должна находиться аптечка с особым подбором лекарств, необходимых для оказания помощи при отравлении газами.

Если на руках имеются открытые ранки, то нужно тщательно следить за тем, чтобы в них не попали капли хромового электролита или хлористого железа во избежание травматизма.

Перед принятием пищи и после работы руки тщательно моются водою с мылом.

Глава IV

ЖЕЛЕЗНЕНИЕ АВТОТРАКТОРНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Процесс железнения. Сущность его и свойства осадков

Возможность электролитического осаждения железа из водных растворов его солей впервые была практически осуществлена в 1869 г. академиком Российской Академии наук Ленцом, который предложил его для покрытия медных клише, с целью повышения их износоустойчивости.

Были применены растворы сернокислого железа с добавками сернокислого магния и кислой плотности тока в этих растворах получались осадки мягкие, гладкие и любой толщины. Совместно с академиком Ленцом работал инженер Е. Клейн, и в 70-х годах этот метод был уже настолько хорошо разработан, что его стали широко применять в экспедиции заготовления государственных бумаг для производства стереотипов.

Последующие исследователи развивали и дополняли метод железнения новыми рецептами электролитов и кроме полиграфической промышленности этот метод стали применять и для восстановления изношенных деталей.

В 1938—1940 гг. Харьковский трактороремонтный завод применил меднение и железнение для восстановления изношенных тракторных деталей. Методом железнения (11) восстанавливались посадочные места втулок толкателя СТЗ, резьбы шпилек цилиндров и болтов крепления бугеля ЧТЗ и другие детали.

В 1942—1945 гг. Московская Академия им. Сталина и ЦНИАТ (Центральный научно-исследовательский институт автомобильного транспорта) провели широкие опыты (12) по железнению автомобильных деталей, для чего были применены горячие растворы хлористого железа.

В последние годы стали применять железнение (13) для ремонта автодеталей на Московском авторемонтном заводе № 1, а также на Ленинградском (14) авторемонтном заводе. Производились исследования с целью установления режимов технологии ремонта тракторных деталей этим способом в Таганрогском институте механизации сельского хозяйства (15) и на Таганрогском заводе им. Сталина, а также в Зерноградском (16) научно-ис-

следовательском институте Министерства совхозов и в других предприятиях.

В настоящее время установлена полная целесообразность применения для ремонта деталей машин горячих растворов сернокислых и особенно хлористых солей железа. В холодных растворах этих же солей получается очень малая скорость наращивания — порядка 0,001—0,005 мм/час, тогда как в горячих растворах можно получить скорость наращивания 0,06—0,20 мм/час.

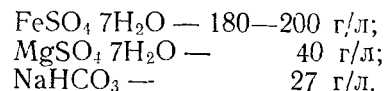
Это обстоятельство и заставило ремонтников главным образом выбрать горячие, а не холодные ванны.

Железнение применяется преимущественно с растворимыми анодами, материалом для которых обычно являются пластины из чистой малоуглеродистой стали.

Обычно все применяемые в практике электролиты состоят из смеси солей железа и солей щелочных металлов, вносимых в ванну с целью повышения электропроводности электролита. В качестве таких проводящих солей применяются сернокислые соли натрия, кальция, магния и хлористые соли натрия и кальция. В ваннах всегда поддерживается кислая среда, для чего в растворе всегда должна присутствовать в небольшом количестве серная или соляная кислота.

Если требуется нанести тонкий слой железа на поверхность детали, то можно применять холодные ванны, то есть ванны, электролит которых не подогревается, и они работают при комнатной температуре.

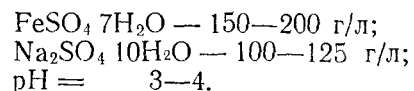
Из них можно отметить, прежде всего, ванну инженера Клейна, следующего состава:



Эта ванна работает при комнатной температуре и при низкой плотности тока 0,10—0,20 а/дм², вследствие чего скорость наращивания не превышает 0,002 мм в час.

При введении в электролит двууглекислой соды (NaHCO₃) на поверхности электролита образуется, после выделения углекислоты, бурая пена, которая потом переходит в сплошную пленку окиси железа, предохраняющая в процессе эксплуатации электролит от окисления его средой окружающего воздуха.

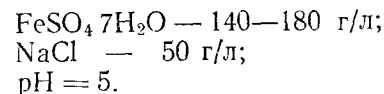
Магневую соль можно заменить сернокислым натрием и работать при электролите следующего состава:



Железнение производится при комнатной температуре, допустимая плотность тока = 0,3 а/дм². Ванна длительно применя-

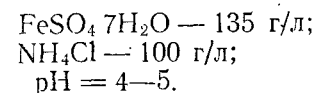
лась в нашей практике и дает вполне удовлетворительные осадки.

Н. Т. Кудрявцев и П. Д. Шорина (7) рекомендуют применять смешанную ванну, то есть ванну, где имеется и хлористая соль:



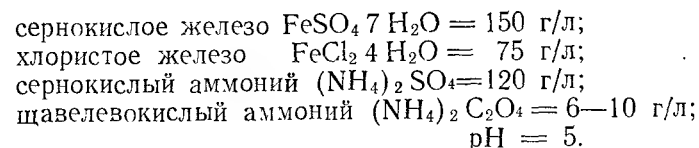
В этой ванне они получали хорошие осадки толщиной до 3—4 мм, ванна работает при комнатной температуре и низкой плотности тока.

Кроме вышеперечисленных можно еще привести две смешанные ванны:



Температура комнатная, плотность тока 0,2 а/дм². Хлористый аммоний увеличивает буферные свойства электролита, то есть кислотность раствора меньше изменяется при работе, чем в других ваннах, не имеющих этой соли.

Другая смешанная ванна имеет следующий электролит:



Температура комнатная, допустимая плотность тока довольно высокая — 1 а/дм², следовательно, и скорость наращивания в последней ванне будет значительно выше, чем в предыдущих ваннах.

Кислотность всех указанных выше растворов холодных ванн можно проверять (15) при помощи индикатора метилвиолета. Это — недифицитный индикатор, он состоит из кристаллов фиолетового цвета и разводится дистиллированной водой концентрации 0,1—0,2%, то есть на 100 см³ горячей воды требуется 0,1—0,2 грамма этого индикатора. Для проверки кислотности в пробирку набирают 3—5 мл испытуемого раствора и добавляется две капли указанного раствора метилвиолета. Если после смешения получится фиолетовый, переходный от голубого цвет испытуемого электролита, то это будет указывать на низкую кислотность, соответствующую pH = 4—5, которая и требуется для холодных ванн.

Основной недостаток вышеуказанных ванн заключается в том, что в них происходит очень медленное отложение железа, что в большинстве случаев не может удовлетворять требований ремонта. Такие ванны можно применять только для деталей, имеющих незначительные износы, и также в местах, где не требуется последующая механическая обработка. Преимущество хо-

подных ванн заключается в том, что оборудование их значительно проще, так как не требуется подогрева и потребность в токе может быть удовлетворена и при маломощном генераторе.

Для быстрого наращивания электролитического железа надо применять горячие ванны. Из этих ванн нужно отметить, прежде всего, хлористую ванну, в которой осадки получаются быстро, значительной толщины и менее хрупкие, чем в других ваннах. Состав электролита следующий:

Хлористое железо $\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ — 400—500 г/л;

Хлористый натрий NaCl — 200 г/л;

$\text{pH} = 2,0-2,5$.

Температура $95-100^\circ \text{C}$, плотность тока $10-20 \text{ а/дм}^2$. Из сернокислых растворов можно применять электролит из следующих солей:

Сернокислое железо $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 200 г/л;

Сернокислый натрий $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ — 125—150 г/л;

$\text{pH} = 2,4-2,8$.

Температура электролита $80-90^\circ \text{C}$, допустимая плотность тока $= 5-8 \text{ а/дм}^2$.

Для смешанных ванн применяются следующие растворы:

Сернокислое железо $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 400 г/л;

Хлористый натрий NaCl — 200 г/л;

$\text{pH} = 2,5$.

Температура электролита $85-95^\circ \text{C}$, допустимая плотность тока $= 6-12 \text{ а/дм}^2$.

Ванны с электролитом из хлористого железа более практичны, чем с электролитом из сернокислого железа. Сернокислые ванны дают более хрупкий осадок, требуют более внимательного наблюдения за кислотностью электролита, менее устойчивы, чем хлористые, скорость наращивания в сернокислых ваннах меньше, чем в хлористых.

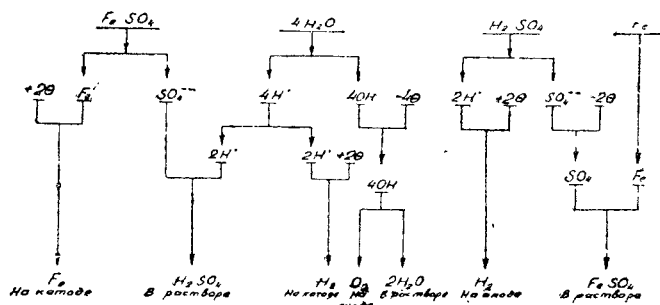


Рис 32. Схема электролиза железа с растворимыми анодами в хлористой ванне

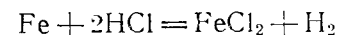
Прежде чем переходить к детальному описанию режима железнения, надо рассмотреть сущность процесса железнения и химические реакции, происходящие при электролизе.

Рассмотрим две типовых ванны — хлористую и сернокислую, электролиты которых подогреваются.

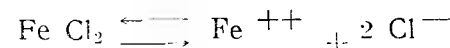
На рисунке 32 приводится основная схема процесса железнения в хлористой ванне с растворимыми анодами.

Прежде всего надо выделить следующие основные реакции, происходящие одновременно в процессе электролиза.

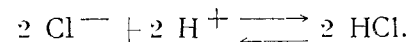
Аноды из малоуглеродистой стали растворяются в кислом электролите, образуя в растворе хлористое железо FeCl_2 ; последнее пополняет убыль хлористого железа, расходуемого на электролиз. Растворение анода идет по следующей реакции:



На растворение железа расходуется соляная кислота. Хлористое железо в растворе диссоциирует на ионы, катионы железа и анионы хлора:

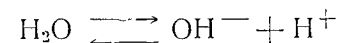


Железо осаждается на катоде, а молекулы хлора выделяются на аноде, или же ионы хлора в соединении с ионами водорода вновь образуют соляную кислоту:



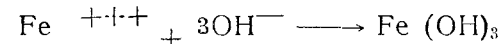
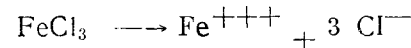
Следовательно, если бы аноды были нерастворимы, кислотность электролита возрастала бы в процессе работы; при растворимых же анодах кислотность электролита уменьшается. Если подобрать аноды частично растворимые и частично нерастворимые, то можно достичь более или менее постоянного состава по кислотности, чтобы ее изменение было незначительным.

Одновременно происходит под действием постоянного тока электролиз воды:



Водород выделяется на катоде, группа гидроксила OH входит в соединение с побочными продуктами основных реакций.

Одновременно с этими основными реакциями происходят и другие, побочные: окисление двухвалентного железа до трехвалентного и образование в результате окислительного процесса, происходящего на аноде, гидратов окиси железа:



С понижением кислотности образование гидратов железа увеличивается, и наоборот, в более кислой среде образование трехвалентного железа уменьшается. Итак, в анодном пространстве происходит растворение железа с выделением водорода, выделение хлора и частичное его соединение с ионом водорода в соляную кислоту, выделение кислорода и образование анионов группы OH .

На катоде происходит выделение водорода, нейтрализация ионов железа и осаждение его.

В горячей сернокислой ванне происходят в основном те же химические процессы, что и в хлористой ванне.

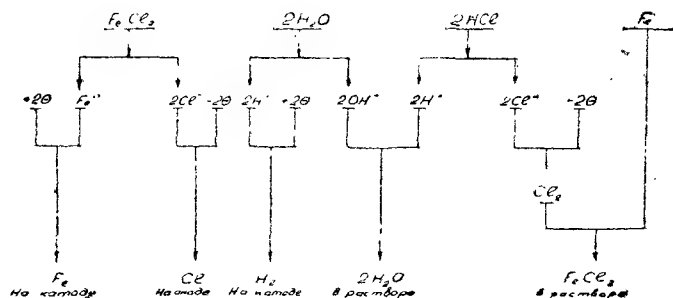
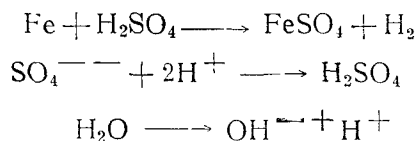


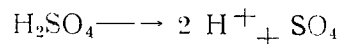
Рис. 33. Схема электролиза железа с растворимыми анодами в сернокислой ванне

На рисунке 33 графически изображена схема электролиза железа с растворимыми анодами в горячей сернокислой ванне.

В этом случае в анодном пространстве происходят следующие реакции:

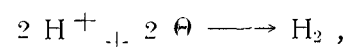
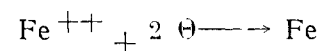


Кроме того, в результате почти одинакового с потенциалом железа перенапряжения водорода, одновременно с выделением металла происходит обильное выделение на катоде водорода; серная кислота в растворе распадается:



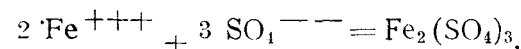
Поэтому в зависимости от величины перенапряжения водорода могут быть различные количественные выделения на катоде металла и водорода; в очень кислой среде может выделяться на катоде один водород. Это положение является аналогичным и для хлористой ванны.

Кроме того, так же как и в хлористой ванне, при нерастворимых анодах кислотность электролита будет увеличиваться, а при растворимых анодах кислотность будет уменьшаться. Электролит непрерывно обедняется кислотой, если анодный выход тока будет больше катодного выхода тока. В качестве нерастворимых анодов в сернокислой ванне можно употреблять свинцовые пластины, но при этом нужно иметь в виду, что ионы хлора в электролите не должны присутствовать, чтобы не портить осадка. Реакция соединений на катоде:

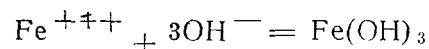


то есть в катодном пространстве значительная часть водорода будет выделяться в молекулярном, газообразном виде, а атомный водород частично диффундирует в электролитический осадок, вызывая в нем хрупкость и внутренние напряжения.

Одновременно с этими реакциями происходит окисление железа до трехвалентного и накопление его в растворе:



а при уменьшении кислотности происходит и образование гидратов окиси железа:



Гидраты железа выпадают в растворе в виде коричневых хлопьев, находящихся в растворе и частично выпадающих на дно.

Если произвести подкисление раствора серной кислотой, то через некоторое время раствор становится опять зеленым без взвешенных коричневых примесей.

При наличии растворимых анодов ванна требует периодического контроля ее по кислотности электролита.

Электролитическое железо достигает максимальной чистоты, если раствор очень чистый и аноды состоят из чистого железа. Если анод завешивается стальной, то с такого анода обычно выделяется углерод и различный шлам, которые, попадая в раствор, загрязняют его. Кроме того на аноде могут образовываться окислы железа. Обычно электролитическое железо содержит в себе значительное количество водорода (водород выделяется всегда независимо от чистоты анодов, когда его перенапряжение становится низким) и других газов, как-то: окиси углерода, углекислого газа, азота и водяного пара. Электролитический осадок, насыщенный водородом, настолько быстро ржавеет на воздухе, что его трудно сохранить от окисления.

Электролитический осадок содержит в себе обычно кроме углерода (17) в очень небольшом количестве другие примеси, как-то: фосфор, серу, марганец и кремний. С повышением температуры электролита (18) уменьшается содержание водорода в осадке. Ю. В. Баймаков приводит данные о количестве водорода в осадке (табл. 19).

Следовательно, повышение температуры благоприятно отзывается на качестве осадка и в горячих электролитах водорода выделяется меньше в 8—10 раз. Но при этом необходимо помнить, что плотность тока существенно влияет на осаждение газов, с повышением Дк — количество водорода на катоде увеличивается.

Таблица 19

Количество водорода в осадке

Температура электролита	Вес осадка	Содержится в осадке водорода
18°	3,1 г	0,0845%
37°	3,1 „	0,0356%
55°	3,09 „	0,0238%
75°	5,3 „	0,0096%

Последующее нагревание электролитического железа освобождает осадок от имеющегося в нем водорода, особенно интенсивно удаление водорода (10) при температурах нагрева 200—300°. В этом интервале выделяется 80—90% имеющегося в осадке водорода. Водород полностью выделяется из осадка при нагреве до 900° С.

Механические свойства электролитического железа, полученного из горячих ванн, по своим показателям являются близкими к показателям среднеуглеродистой стали. Обычно осадки, полученные из сернокислых ванн, имеют более высокую твердость, чем осадки, полученные из хлористых ванн. Но осадки из сернокислых ванн, особенно горячих, получаются очень хрупкими.

Профессор Баймаков Ю. В. (18) приводит данные, характеризующие прочность осадков, полученных из сернокислых ванн.

Сопротивление разрыву в кг/см² отожженных пластинок оказалось равным:

горячие чисто сернокислые	— 2765 кг/см ² ;
с прибавлением NaCl	— 3826 » ;
холодные чисто сернокислые	— 5442 » ;
с прибавлением NaCl	— 4986 » ;

Наиболее чистые отложения получаются в горячих хлористых ваннах с платиновым анодом, а наиболее загрязненные газами отложения дают горячие сернокислые ванны. По степени загрязнения осадка и по степени ухудшения качества его, ванны железнения можно расположить в следующем последовательном порядке (начиная с ванн, дающих лучшие осадки и кончая ваннами, дающими худшие осадки):

- 1) хлористые горячие ванны с платиновым нерастворимым анодом стоят на первом месте;
- 2) хлористые горячие ванны с растворимыми анодами — на втором месте;
- 3) хлористые холодные ванны — на третьем месте;
- 4) сернокислые холодные ванны — на четвертом месте;
- 5) сернокислые горячие ванны — на пятом месте.

Механические свойства электролитического железа, полученного из горячих хлористых ванн с растворимыми анодами, харак-

теризуются средними значениями предела прочности 4000—6000 кг/см², удлинения 5—15% и твердости Нв 120—180.

Твердость осадков, полученных из сернокислых ванн, составляет по Бринеллю 180—250, то есть значительно больше, чем для хлористых ванн.

Чистое электролитическое отожженное железо имеет твердость по Бринеллю 55—60 единиц. Такое очень мягкое железо не окисляется и не имеет водорода.

Чтобы избежать наводораживания и получить очень мягкое железо, надо применять высокую температуру электролита, низкую плотность тока и очень чистые аноды.

В обычных условиях, на практике, этого достичь очень трудно, к тому же это требует дополнительных затрат средств и времени. Поэтому, применяя высокую температуру, стремятся увеличить плотность тока, так как работают при максимально возможной скорости наращивания и кроме того в практике обходятся анодами из малоуглеродистой стали. Такие условия удовлетворяют требованиям ремонтного производства и поэтому они могут быть наиболее приемлемыми. Структура электролитического железа имеет своеобразный характер: на поперечном шлифе всегда наблюдается столбчатое расположение кристаллов. Столбчатая форма более резко выражается на осадках, полученных из сернокислых ванн, нежели из хлористых.

Из рассмотрения микроструктур вытекает, что столбчатость имеет определенное направление, оно перпендикулярно к поверхности катода, рост кристаллов, очевидно, совпадает с направлением силовых линий тока. Кристаллы растут больше там, где для их электрокристаллизации требуется наименьшая энергия.

Чтобы проследить влияние последующего невысокого отжига на структуру электролитического железа, мы (9) провели исследование и нашли, что при нагреве до 200—250° С и выдержке при этом в течение 1—3 часов, структура изменяется в лучшую сторону и соответственно осадок улучшается.

Режим процесса железнения. Влияние различных факторов на качество осадка

Для ремонтного производства наиболее приемлемыми являются горячие ванны, так как в этих ваннах обеспечивается высокая скорость наращивания электролитического железа.

На процесс электролиза и на качество осадка особенно существенное влияние оказывает изменение таких факторов, как кислотность электролита, температура, плотность тока и концентрация электролита; причем эти изменения одинаково воздействуют как в сернокислых, так и в хлористых ваннах. Например, изменение кислотности вызывает существенное изменение выхода металла по току. С увеличением кислотности полезный выход металла снижается до нуля в обеих ваннах, но в разных количественных соотношениях.

На рисунках 34 и 35 изображаются графические зависимости полезного выхода металла от pH — показателя концентрации водородных ионов раствора.

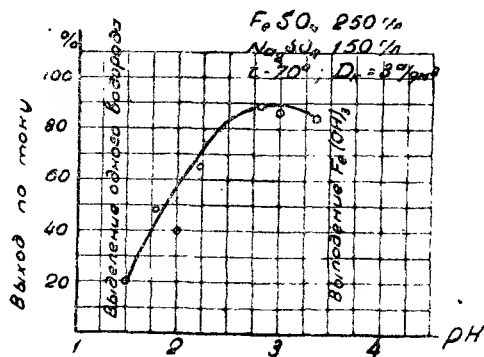


Рис. 34. Влияние pH на выход по току в сернокислой ванне

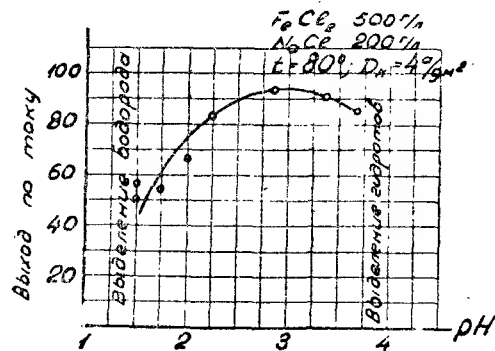


Рис. 35. Влияние pH на выход по току в хлористой ванне

С одной стороны уменьшение pH (то есть увеличение кислотности раствора) вызывают преимущественно выделение водорода, а не металла на катоде; в очень кислой среде выделяется один водород. С другой стороны, увеличение pH (то есть уменьшение кислотности) способствует переходу закисного железа в окисное, и, в связи с этим, образование гидратов окиси железа. Раствор в этом случае мутнеет, на поверхности электролита собираются коричневые (бурые) хлопья гидратов, осадок становится плохим, оператору приходится прерывать электролиз, чтобы исправить, прокорректировать ванну. Пределы этих критических изменений pH — более узкие для сернокислых ванн, нежели

для хлористых и поэтому первые являются в эксплуатации более капризными, чем вторые. Количественные соотношения между pH (показателем концентрации водородных ионов) и выходом металла для каждого конкретного случая электролиза будут различными, так как эти соотношения зависят в основном от перенапряжения водорода и потенциалов выделения железа, а потенциалы меняются не только с изменением условий электролиза, но также и с изменением природы основного металла катода и даже от состояния его поверхности.

Мы уже раньше приводили на рисунке 7 графическую зависимость перенапряжения водорода (то есть действительного напряжения, для конкретных условий, при котором на катоде выделяется водород) от природы катодного материала. Перенапряжение водорода также изменяется и от условий электролиза, то есть от температуры, кислотности электролита и даже от концентрации его. На рисунке 8 дана такая зависимость от кислотности электролита.

В свою очередь, кислотность электролита влияет также и на изменение катодных потенциалов выделения железа. На рисунках 36 и 37 такая зависимость представляется в виде графиков. Чем больше кислотность раствора, тем меньше потенциалы выделения железа.

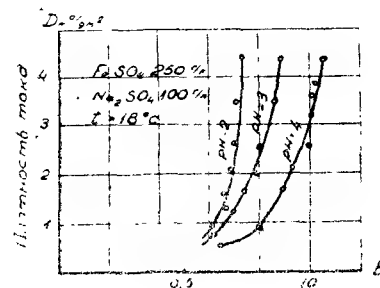


Рис. 36. Влияние pH на изменение катодных потенциалов Fe в сернокислой ванне

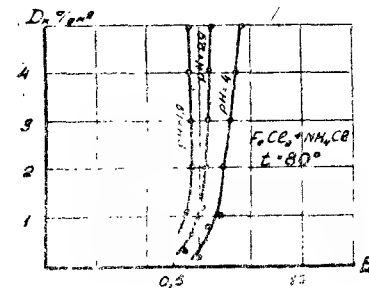


Рис. 37. Влияние pH на изменение катодных потенциалов Fe в хлористой ванне

Потенциалы выделения железа в сернокислых ваннах больше, чем в хлористых.

Катодные потенциалы мы снимали на обычной установке, состоящей из электролизной и потенциометрической части, где в качестве электролита сравнения был взят коллоидный элемент.

Напряжение, которое получается на шинах ванны, складывается из различных потерь:

$$V = e_1 + e_2 + e_3 + e_4 = e_1 + e_2 + I \rho_s \cdot l + J (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6)$$

Здесь:

V — напряжение на шинах ванны, в ;

e_1 — напряжение разложения, в ;

e_2 — перенапряжение на электродах, в;
 e_3 — потери напряжения на сопротивление электролита, в;
 e_1 — потери напряжения в проводниках и контактах, в;
 J — сила тока, а;
 ρ — удельное сопротивление электролита, ом. см;
 L — расстояние между анодом и катодом, см;
 S — среднее геометрическое из площади анода и катода, см²;

$$S = \sqrt{S_a \cdot S_k};$$

R_1 — сопротивление токоподвода к аноду, ом;
 R_2 — сопротивление контакта шина-анод;
 R_3 — сопротивление анода;
 R_4 — сопротивление катода;
 R_5 — сопротивление контакта между катодом и токоотводом;
 R_6 — сопротивление контакта шина-катод.

С увеличением электропроводности электролита, уменьшением сопротивления в проводниках и контактах — уменьшается общее напряжение на ванне.

Расход электрической энергии за 1 час, следовательно, будет равен:

$$I V = I e_1 + I e_2 + I^2 \rho \frac{L}{S} + J_2 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6)$$

Обратная электродвижущая сила может быть измерена при мгновенном отключении ванны от сети и при этом ЭДС непосредственно отсчитывается по вольтметру. Вообще баланс напряжения ванны измеряется по отдельным элементам при работающей ванне. При помощи вольтметра и милливольтметра с магазинным сопротивлением производится измерение в проводниках и контактах.

Нужно стремиться к наименьшему расходу электрической энергии, следует особо наблюдать за состоянием проводников и контактов.

Кислотность электролита при снижении ее до определенного предела вызывает помутнение электролита. Такая зависимость от pH показана на рисунке 38 для сернокислой ванны.

Помутнение связано с выпадением гидратов железа, причем выпадение их зависит еще и от температуры электролита — чем выше температура, тем скорее могут выпасть гидраты железа.

Это условие заставляет чаще контролировать кислотность горячих электролитов, чем холодных.

Кислотность значительно влияет также на твердость и вязкость осадков. Вязкость осадков определялась числом перегибов пластинок до появления трещин в покрытиях. Твердость осадков определялась на приборе Виккерса и потом пересчитывалась нами на шкалу Бринелля.

На рисунке 39 графически изображено влияние кислотности раствора на твердость осадка, а на рисунке 40 влияние pH на вязкость осадков.

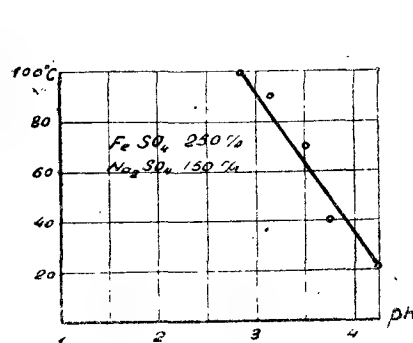


Рис. 38. Помутнение электролита в зависимости от pH и температуры

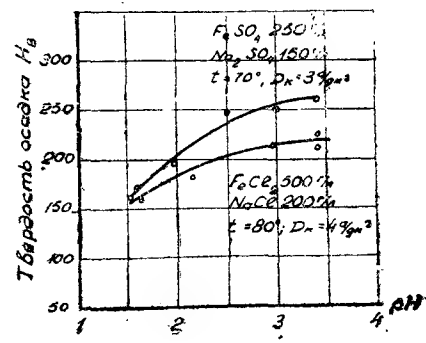


Рис. 39. Влияние pH на твердость осадка

С увеличением pH твердость осадка увеличивается, а вязкость его соответственно уменьшается. В электролитических осадках железа всегда имеется прямая связь между хрупкостью и твердостью: более твердые осадки всегда являются и более хрупкими. Мы считаем, что повышение твердости, при низкой кислотности, объясняется включением окислов в осадок и большим искажением кристаллической решетки при этом.

Цвет покрытия меняется в зависимости от кислотности. Так, при высоких значениях pH, осадки получаются более темными, и, наоборот, при низких значениях pH осадки светлеют. На рисунке 41 представлены результаты наших наблюдений. В опыте поддерживались постоянные значения температуры и плотности тока, степень же кислотности изменялась.

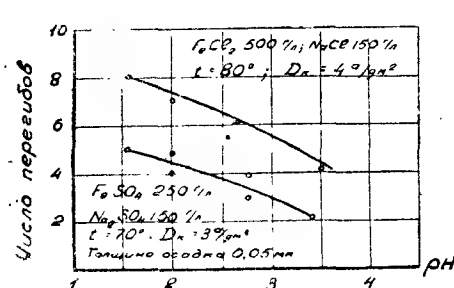


Рис. 40. Влияние pH на вязкость осадка

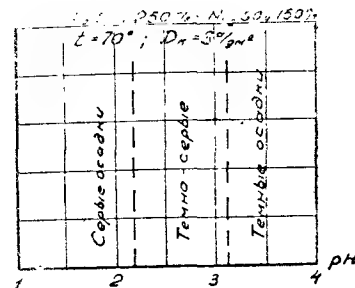


Рис. 41. Влияние pH на цвет осадка

На характер электролиза и на качество осадка в значительной мере влияет изменение плотности тока.

Из различных наблюдений над ваннами, сернокислыми и хлористыми, можно сделать вывод, что при увеличении плотно-

сти тока увеличивается твердость осадка, уменьшается его вязкость, уменьшается прочность сцепления осадка с основным металлом, увеличивается выгиб катодной пластинки и, следовательно, внутренние напряжения осадка.

На рисунке 42 показано постепенное изменение цветов осадка при изменении плотности тока.

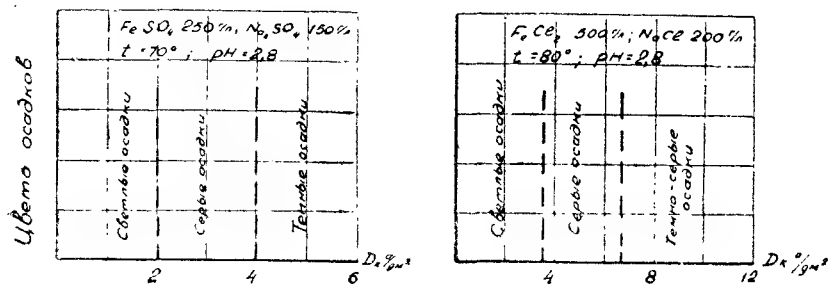


Рис. 42. Влияние D_k на цвет осадков, полученных из сернокислой и хлористой ванн

С уменьшением плотности тока осадки светлеют, и наоборот, повышение плотности вызывает потемнение осадков.

Существенное влияние на качество осадка оказывает температура электролита. В обоих случаях, как для сернокислых, так и для хлористых ванн, изменение температуры вызывает принципиально одинаковые последствия на электролиз и на качество осадка; разница заключается только в количественной зависимости. Так, например, повышение температуры, одинаковое для обеих ванн, вызывает понижение твердости осадка и понижение его хрупкости. Эти зависимости представлены на рисунках 43 и 44.

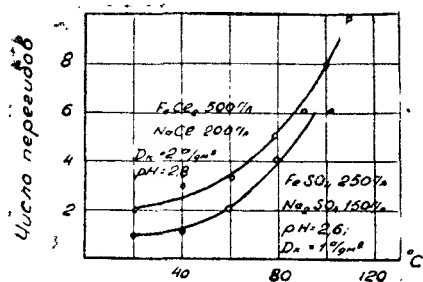


Рис. 43. Влияние температуры на вязкость осадков

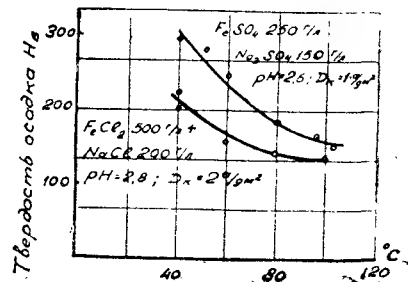


Рис. 44. Влияние температуры на твердость осадка

Осадки из хлористых ванн мягче, и менее хрупкие, чем осадки, полученные из сернокислых ванн. С увеличением температуры электролита увеличивается и допустимая плотность тока. На рисунке 45 показана такая зависимость.

Мы считаем допустимой плотностью тока такую плотность, при которой не будут получаться трещины осадка, дендритооб-

разные наросты на краях и не будет большой хрупкости осадков, имеющих толщину более 0,5—0,8 мм. Очень тонкие осадки не являются типичными для ремонтного производства.

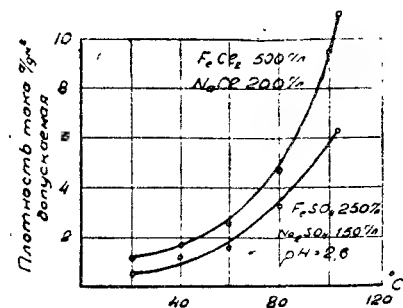


Рис. 45. Влияние температуры на допустимую плотность тока

С увеличением температуры уменьшаются внутренние напряжения осадка, увеличивается рассеивающая способность ванны и уменьшаются катодные потенциалы.

На рисунке 46 показаны поляризационные кривые в зависимости от температуры электролита для обеих ванн.

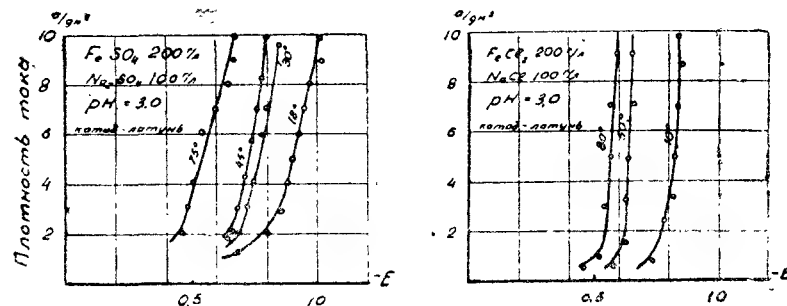


Рис. 46. Влияние температуры на изменение катодных потенциалов

С повышением температуры потенциалы электролитических осадков становятся менее электроотрицательными, такое изменение поляризационных кривых обычно вызывает образование более крупных кристаллов.

Заметно также, что при прочих равных условиях увеличение температуры вызывает осветление осадка; при том же pH и той же D_k , при низких температурах электролита получаются темные и темносерые осадки. Это положение одинаково для обеих ванн.

На рисунке 47 показана графическая зависимость между цветом осадка и температурой электролита. Очевидно, потемнение осадка вызывается наличием окислов в покрытиях — их становится больше при малой кислотности, при низких температурах и при высокой плотности тока.

Увеличение концентрации активных солей в электролите повышает допустимую плотность тока, а следовательно, и скорость наращивания, что дает возможность работать с большей кислотностью.

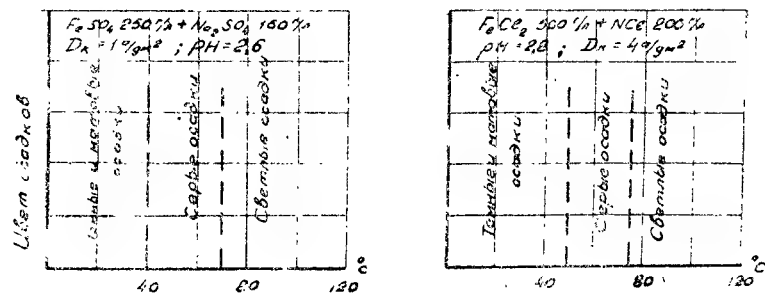


Рис. 47. Влияние температуры на цвет осадка

Увеличение концентрации солей способствует образованию более крупных кристаллов железа, причем твердость осадка и предел прочности снижается.

В итоге обзора этих факторов можно отметить главные различия между горячими хлористыми и сернокислыми ваннами; эти различия приведены в таблице 20.

Таблица 20

Сравнительные показатели сернокислой и хлористой ванн железнения

Сравнительные признаки	Сернокислая ванна	Хлористая ванна
Твердость электролитического осадка	250 кг/мм²	180 кг/мм²
Внутренние напряжения	25 кг/мм²	18 кг/мм²
Допустимая плотность тока	6 а/дм²	10 а/дм²
Скорость наращивания	0,07 мм/ч	0,11 мм/ч
Хрупкость осадка	2 перегиба	4 перегиба
Степень наводороживания осадка	больше	меньше
Рассеивающая способность	меньше	больше
Чувствительность ванны к изменениям режима	более высокая	менее капризная ванна
Выделение вредных для здоровья газов	меньше	больше

Следовательно, для ремонта машин более приемлемой является хлористая ванна (хотя сернокислая ванна и не исключается из применения ее в ремонтной технике).

Надо сказать, что применение высоких температур нагрева ванн (95—105° С) всегда вызывает ряд практических неудобств

(испарение, частые доливы и т. д.) и поэтому не может быть настойчиво рекомендовано. Практически удобнее производить электролиз, не превышая нагревания более 90° С.

Итак, следует считать оптимальными, наилучшими условиями электролиза железа — следующие:

Хлористая ванна

Состав электролита: $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 400—500 г/л + NaCl 150—200 г/л + HCl 2—3 г/л, температура раствора 85—90° С, плотность тока 8—10 а/дм².

Сернокислая ванна

Состав электролита: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 200—250 г/л + Na_2SO_4 100—150 г/л (или NaCl 100—150 г/л) + H_2SO_4 2,0—2,5 г/л (по метилвиолету — синий цвет электролита), температура электролита 80—90° С, плотность тока 4—6 а/дм².

Аноды для обеих ванн принято применять растворимые, из мягкого железа. При электролизе обычно выделяется с анодов шлам, который нужно удалять, периодически промывая аноды.

Расстояния между катодами и анодами нужно устанавливать равными 100—150 мм. Аноды из углеродистой стали выделяют в электролите углерод; из раствора углерод захватывается течением и уносится на катод, где механически осаждается вместе с железом. В этом случае по химическому анализу электролитического осадка, в нем всегда обнаруживается углерод в количестве, в среднем, до 0,30%.

Наши исследования в 1948 г. установили некоторую зависимость углерода в осадке от материала анодов. Эти данные приводятся в таблице 21.

Согласно данным, приведенным в таблице 21, доказывається, что высокоуглеродистые аноды способствуют большему отложению

Таблица 21

Влияние различных анодов на количество углерода в осадке

Материал анодов или род добавок	Количество углерода в осадке	В а н н а
Аноды с содержанием $\text{C} = 0,4\%$	0,20%	Сернокислая ванна $\text{Fe SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 250 г/л Na_2SO_4 10 H_2O —125 г/л H_2SO_4 2,5 г/л $D_k = 6$ а/дм² Температура—75°С
Аноды с содержанием C до 1%	0,35%	
Аноды угольные, растворимые	0,20%	
Аноды из серого чугуна	0,50%	
Аноды из ферромарганца	0,80%	
Добавка в ванну глицерина до 20 г/л	0,40%	
Присутствие в ванне чугунных опилок	0,56%	

нию углерода в осадке; но количество углерода в осадке не превышает 0,50%, что даже при наличии чугунных анодов явилось пределом.

Углерод осаждается на катоде механически, не вступая в соединение с железом, и вообще говоря, портит осадок, так как нарушает равномерность кристаллизации, способствует созданию шероховатости, увеличивает хрупкость осадка (как и от других посторонних примесей). Но наличие углерода дает нам возможность впоследствии производить термическую обработку покрытий и при этом получать соответствующую сталь с более высокой износоустойчивостью. Кроме того надо учесть, что различный шлам в ванне, а также и углерод, находящийся в электролите в виде нейтральных взвесей, не благоприятствуют получению толстых осадков, которые необходимы для ремонта тракторных деталей. Поэтому мы считаем, что в настоящее время такой механический метод осаждения углерода может быть применим в практике только в некоторых случаях.

Другой метод получения углерода путем введения в раствор органических добавок дает лучшие результаты. Так, например, добавление в раствор хлористой ванны глицерина в количестве до 90 г/л улучшает качество осадков (14), прочность их возрастает, структура получается улучшенной и осадки имеют хорошие механические свойства.

Были проделаны опыты осаждения железа при наличии пористых диафрагм в ванне — аноды погружались в эту диафрагму, а катоды находились в ванне. При наличии диафрагмы осадки железа получаются чище, менее загрязненными посторонними примесями. В таблице 22 указываются сравнительные данные и преимущества диафрагм. В качестве диафрагмы был использован пористый алундовый сосуд.

Таблица 22

Качество осадков при наличии диафрагмы в ванне и без диафрагмы

Состав электролита	Без диафрагмы			С диафрагмой		
	% С в осадке	чистота поверх. осадка	тверд. по Бринеллю	% С в осадке	чистота поверхности	тверд. по Бринеллю
FeCl ₂ 500 г/л		При толщине более 0,2 мм.				
+NaCl 200 г/л		Поверхн. шероховатая				
+HCl 2,5 г/л						
Температура 70°C . . .	0,25		180	0,05	Гладкая	140
Тоже	0,15	Тоже	170	0,05	Гладкая	140

Количество углерода в осадке, при заключении анолита в диафрагму, меньше, чем при электролизе без диафрагмы, поверхность катода более гладкая. Следовательно, в этих условиях можно получать и более толстые осадки.

Мы проверили также влияние на работу ванны нерастворимых (17) анодов (свинец для сернокислой, уголь для хлористой ванны) и получили результаты, приведенные в таблице 23.

Таблица 23

Преимущества и недостатки нерастворимых анодов

Сравнительные показатели	Результаты электролиза с растворимыми и нерастворимыми анодами
Изменение кислотности	Кислотность увеличивается при нерастворимых анодах, а не уменьшается, как обычно.
Скорость наращивания Качество осадка	Одинаковая При нерастворимых анодах качество осадка лучше, металл более однородный.
Прочность сцепления	Одинаковая.
Чистота электролита	При нерастворимых анодах электролит всегда чистый; при растворимых анодах электролит загрязняется выделяющимся шламом.

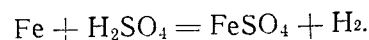
Следовательно, имеются некоторые преимущества нерастворимых анодов, но в практике предпочитается применять растворимые аноды, имея в виду, что пополнение электролита солями железа в этом случае протекает само собой в процессе электролиза (электролитического растворения анодов).

Приготовление электролита

Для сернокислого электролита применяется сернокислое железо (железный купорос) FeSO₄·7H₂O и в качестве проводящих солей сернокислый натрий Na₂SO₄·10H₂O или поваренная соль (хлористый натрий) NaCl.

Для хлористого электролита применяется хлористое железо FeCl₂·4H₂O и в качестве проводящих солей обычно поваренная соль NaCl.

Сернокислое железо — это соль в виде кристаллов зеленовато-голубого цвета; если отсутствует трехвалентное железо, то соль состоит из кристаллов только голубого цвета; при высыхании соль преобразуется в белый порошок, пригодный для процесса железнения. Железный купорос можно получить, растворя стружки из мягкой стали серной кислотой. Реакция образования соли:



Водород выделяется в газообразном состоянии.
Молекулярный вес железного купороса = 278,02.

При растворении стружек, из одного килограмма серной кислоты можно получить 2,54 кг железного купороса; на что потребуется 0,52 килограмма железных стружек. Растворять стружку нужно в водном растворе серной кислоты, подогревая его до 40—50° с целью повышения интенсивности растворения. Образовавшийся раствор следует фильтровать. Чистый раствор FeSO_4 имеет прозрачный зеленый цвет. Количество железного купороса по удельному весу раствора определяется по данным таблицы 24.

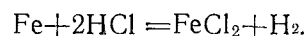
Таблица 24

Удельные веса растворов сернокислого железа

Удельный вес	Содержание железного купороса г/л
1,04	82
1,08	164
1,12	245
1,16	327
1,20	408
1,24	490

После того, как приготовлен раствор железного купороса заданной концентрации, нужно отвесить требуемое количество соли сернокислого натрия или хлористого натрия, растворить его в воде, профильтровать и потом смешать с раствором сернокислого железа; в этом растворе должно быть солей железа и сернокислого натрия столько, сколько требуется по расчету на рабочую емкость ванны. После этого доливают воду до метки, соответствующей верхнему уровню электролита, то есть соответствующей рабочей емкости ванны. Соли должны вводиться в ванну в количестве из расчета на 1 литр раствора, а не на 1 литр воды.

Хлористое железо обычно в продаже отсутствует и его приходится готовить на месте, растворяя железные стружки в водном растворе соляной кислоты. При растворении стружки выделяется водород:



Растворение нужно производить под вытяжкой, чтобы защитить себя от газов хлора (при испарении соляной кислоты и водорода). Чтобы растворение шло быстрее, водный раствор кислоты подогревается до 30—40°. Стружка, приготовленная для растворения, должна быть чистой и обезжиренной. Стружку нужно готовить из малоуглеродистой стали.

Количество соляной кислоты, необходимое для получения раствора хлористого железа определенной концентрации, приводится в таблице 25.

Таблица 25

Потребное количество соляной кислоты на приготовление электролита

Содержание в растворе г/л		Потребуется кислоты в г/л			
		удельный вес кислоты			
$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Fe	1,14	1,16	1,18	1,20
99,41	27,92	131,0	105,0	100	93
198,82	55,84	262	230	200	186
298,23	83,76	393,0	345	300	279
397,64	111,68	424	460	400	372
497,05	139,60	655	575	500	465
596,46	167,52	786	690	600	558
695,87	195,44	917	805	700	657

Для того, чтобы приготовить 10 л раствора хлористого железа концентрации 500 г/л, потребуется соляной кислоты (технической, удельный вес 1,14) — 658 г/л, а на 10 литров — 6,58 кг. Железных стружек потребуется 140 г/л, но учитывая неполную их растворимость коэффициентом 1,10, получим, что на 10 л раствора понадобится стружек:

$$140 \cdot 1,10 \cdot 10 = 1540 \text{ г, или } 1,54 \text{ кг.}$$

После того, как будут приготовлены исходные материалы (кислота и стружка), приступают к растворению. Для этого в кислотоупорном сосуде разбавляют соляную кислоту водой из примерного расчета 1 л воды на 1 л кислоты и засыпают в этот сосуд горстями, в несколько приемов, приготовленную стружку. Растворение стружки продолжают до прекращения выделения пузырьков водорода, после чего вводится следующая часть стружек и растворение повторяется снова, пока не выйдет вся стружка.

Водный раствор хлористого железа, после отстаивания, фильтруется через вату, а при особой необходимости через фильтровальную бумагу.

Поваренная соль растворяется в воде в отдельной посуде, фильтруется и заливается в раствор хлористого железа. Удельный вес электролита при концентрации $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 400—500 г/л и поваренной соли 150—200 г/л, будет равен 1,30—1,35.

После приготовления электролита надо его исследовать на кислотность. В производственных условиях такое исследование лучше всего делать при помощи индикатора.

Для сернокислого электролита хорошие результаты (15) дает индикатор — метилвиолет, разведенный в воде в концентрации 0,1%. Две капли такого индикатора на 4 мл испытуемого раст-

вора покажет степень кислотности по полученным цветам: желтый цвет указывает чрезмерно высокую кислотность, зеленый — высокую кислотность, синий — нормальную кислотность и фиолетовый — низкую, недостаточную кислотность. Испытуемый раствор обязательно при этом нужно охлаждать до нормальной температуры.

Ориентировочно определить кислотность хлористого электролита (охлажденного до нормальной температуры) можно этим же индикатором (но менее точно, чем сернокислого электролита) или же индикатором — ксиленолблау — пара (12) концентрации 0,1%, который разводится в 20 см³ теплого спирта и 80 см³ воды).

После приготовления электролита его нужно проработать на случайных катодах в течение 6—8 часов и после этого приступают к покрытию деталей.

Если кислотность окажется очень высокой, то продолжают проработку электролита, завешивая на анодную штангу возможно большое количество анодов.

Приготовленного электролита хватает на очень длительный период, так как убыль железа все время пополняется за счет растворения железных анодов.

В дальнейшей работе требуется периодическая фильтрация электролита от накопившегося шлама, который образуется при растворении анодов. Аноды периодически через 2—3 часа работы нужно вынимать из ванны и промывать водой.

Наличие трехвалентного железа проверяется роданистым аммонием. Чтобы избавиться от трехвалентного железа, в ванну засыпают стружку и, добавив туда кислоту, производят растворение стружки.

Прочность сцепления. Внутренние напряжения осадка

Прочность сцепления измеряется силой, которую нужно приложить перпендикулярно к поверхности покрытия для того, чтобы оторвать осадок от основного металла. Обычно эта сила выражается в кг/см². Прочность сцепления зависит от выбранного метода подготовки катода перед железнением, а также и от условий электролиза.

Из практики гальванотехники известно, что разнородные металлы сцепляются лучше, чем однородные. Так, например, хром с хромом соединяется плохо, тогда как сцепление хрома со сталью очень высокое.

Мы исследовали влияние на прочность сцепления различных методов подготовки образцов перед железнением, как-то: травление в водных растворах разных кислот после обезжиривания, нагревание образцов перед железнением после травления (с целью удаления водорода в первоначальных слоях электролитического осадка), применялись также различные способы обезжиривания образцов, и наконец, применялись присадки в ванну со-

лей других металлов, электролитические осадки которых хорошо соединяются со сталью.

На рисунке 48 показана форма образца с отверстиями, в которые тесно, но без особого усилия, вставлялись круглые стержни, диаметром 3 мм. Торцы стержней, выходящие на поверхность покрытия, тщательно шлифовались и пригонялись вручную, чтобы они были заподлицо с основной поверхностью и чтобы не было заметного зазора между отверстием и стержнем.

Нижняя часть образца (в местах выхода стержней) защищалась от электролита или же просто не погружалась полностью в электролит.

Нижние концы стержней были изогнуты в виде крючка, на который подвешивалась цепь и необходимый груз. Для отрыва этих стержней, было изготовлено рычажное приспособление.

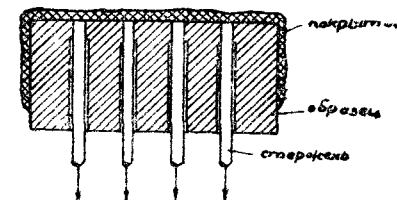


Рис. 48. Схема испытания образцов на прочность сцепления

Необходимая толщина покрытия для определения прочности сцепления допускалась не менее 0,1 мм.

Прочность сцепления, определенная таким образом, для различных условий режима работы ванны изменялась в пределах от 300 до 1200 кг/см².

Наибольшие значения прочности сцепления были получены на образцах, покрытие которых производилось в смешанных ваннах с добавлением NiSO₄ 15 г/л. Наименьшие значения прочности сцепления получены с образцов, покрытых в ваннах железнения, не имеющих добавок солей металлов никеля, кобальта, марганца, хрома и др.

В общем прочность сцепления электролитического железа находилась в пределах от 300 кг/см² до 700 кг/см². Прочность сцепления образцов из хлористой ванны несколько выше, чем в сернокислых ваннах. Добавление в ванну железнения солей никеля, кобальта, марганца, цинка всегда увеличивало прочность сцепления осадка с основой, причем нужно иметь в виду, что вводились эти соли в небольшом количестве, в среднем по 10—25 г/л.

Чтобы обеспечить более высокие значения прочности сцепления, необходимо производить тщательную подготовку, загружать детали в ванну всегда под током, начинать электролиз на пониженной плотности тока в течение 30—40 мин., добавлять в ванны железнения небольшие количества солей никеля, кобальта, марганца или цинка (в целях образования сплава, у которого сцепление выше сцепления железа) и, наконец, вести электролиз в чистом электролите и несколько повышенной кислотности. Все эти требования относятся к начальному периоду электролиза, когда начинается и заканчивается электрокристаллизация первых, нижних

слоев на поверхности основного металла. Природа основного металла тоже оказывает существенное влияние на прочность сцепления.

В порядке повышения прочности сцепления металлы располагаются так: 1) чугун; 2) высокоуглеродистая сталь; 3) малоуглеродистая сталь; 4) бронза; 5) латунь.

Наиболее высокая прочность сцепления по латуни объясняется тем, что перенапряжение водорода на этом металле самое высокое, в сравнении с другими, и, наоборот, на стали перенапряжение водорода меньше. Поэтому нижние слои железа при осаждении на латунь меньше насыщаются водородом, чем при осаждении на сталь.

Введение в сернокислую ванну железнения небольшого количества сернокислого цинка (в количестве 10—15 г/л), в начале гальванического процесса дает хорошие результаты по сцеплению с основой. Такого количества сернокислого цинка уже достаточно для того, чтобы первый слой покрытия состоял из сплава цинка с железом; цинк более активно осаждается на катоде, чем железо. В дальнейшем будет осаждаться одно железо, так как 10—15 г/л сернокислого цинка уйдет на образование первого слоя железо-цинкового сплава. Этот сплав очень прочно сцепляется с чугуном и сталью, а также и с электролитическим железом.

Внесение подслоя из металлов, на которых перенапряжение водорода высокое, может также значительно повысить прочность сцепления при железнении.

Такой подслоя получается в отдельной ванне из следующего электролита:

сернокислый цинк	— 200 г/л;
сернокислое железо	— 120 г/л;
алюмо-калиевые квасцы	— 50 г/л;
сернокислый натрий	— 30 г/л;
декстрин	— 10 г/л.

Ванна работает при температуре 45°, плотность тока 6—8 а/дм², рН = 4,0.

Указанный подслоя особенно прочно сцепляется с чугуном, а также с высокоуглеродистой сталью. Детали предварительно покрываются в ванне в течение 0,5 часа железо-цинковым покрытием, промываются водой и завешиваются в ванну железнения для дальнейшего покрытия железом на заданную толщину.

Рекомендуется вначале, в течение 15—20 минут дать плотность тока повышенной силы, чтобы избежать выделения водорода на отдельных участках. Загружать обязательно под током, чтобы не растворился железо-цинковый подслоя. Предварительное нанесение этого подслоя увеличивает прочность сцепления при железнении как в сернокислых, так и в хлористых ваннах.

Большое значение, кроме прочности сцепления, для ремонта автотракторных деталей имеет факт постоянного образования внутренних напряжений электролитических осадков железа. Внут-

ренние напряжения в покрытиях являются растягивающими напряжениями. В результате этих напряжений гибкий катод изгибается, обращаясь вогнутой стороной к аноду.

Внутренние напряжения осадка уменьшают прочность сцепления с основой и понижают предел усталости деталей машин.

Наши исследования (в Иркутском сельскохозяйственном институте) внутренних напряжений показали, что эти напряжения растут с увеличением плотности тока и уменьшаются с повышением температуры электролита и с увеличением концентрации активных солей. Влияние плотности тока на внутренние напряжения показано на рисунке 49. Внутренние напряжения осадков, полученных в сернокислых ваннах, значительно больше внутренних напряжений осадков железа из хлористых ванн.

При дальнейшем увеличении плотности тока осадки рвутся, то есть внутренние напряжения начинают превышать предел прочности электролитического железа. Влияние температуры на внутренние напряжения графически показано на рисунке 50; с увеличением температуры электролита уменьшаются напряжения осадка; такой вывод одинаково верен как для сернокислых, так и для хлористых ванн.

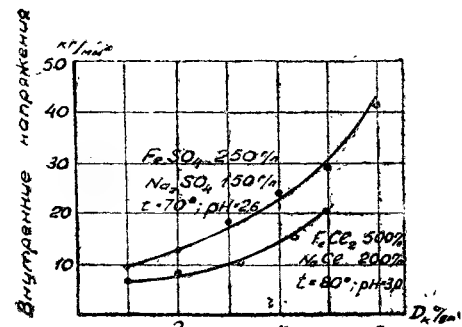


Рис. 49. Влияние плотности тока на внутренние напряжения

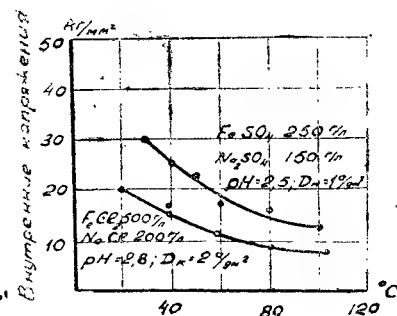


Рис. 50. Влияние температуры на внутренние напряжения

При высокой плотности тока значительно искажается и уплотняется кристаллическая решетка, при высокой температуре уменьшается наводораживание осадков, и если взять низкую плотность тока и высокую температуру электролита, то можно получить мягкие, не напряженные осадки.

В лаборатории Иркутского сельскохозяйственного института были произведены исследования хлористых горячих ванн и определялись внутренние напряжения осадков, полученных при разных значениях плотности тока, температуры и концентрации электролита. Результаты этих исследований приведены в таблице 26.

Внутренние напряжения подсчитывались по величине прогиба гибкого катода — чем больше прогиб, тем больше напряжения

Внутренние напряжения электролитического железа при различных условиях

Плотность тока а/дм ²	10	15	20
Внутренние напряжения кг/см ² . .	1450	1890	2170
Температура электролита °С	70	80	90
Внутренние напряжения кг/см ² . .	2330	2140	1100
Концентрация хлористого железа г/л	200	300	500
Внутренние напряжения кг/см ² . . .	1940	1060	518

осадка. Опыты производились каждый раз на одну толщину осадка, условия ведения электролиза были следующие:

Состав: $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ — 250 г/л;
 NaCl — 100 г/л;
 $\text{pH} = 2,5$.

Оптимальная плотность тока 15 а/дм², температура электролита 88—94° С.

Расчет внутренних напряжений производился по следующей формуле:

$$\delta = \frac{4}{3} \cdot \frac{E \cdot l^2 \cdot f}{h \cdot l^2} \text{ кг/см}^2$$

Здесь:

δ — внутренние напряжения, кг/см²;

E — модуль упругости, $2,1 \cdot 10^6$ кг/см²;

l — толщина катода, см;

f — стрела прогиба, см;

h — толщина осадка, см;

l — длина катода, см.

Замечено, что с увеличением толщины осадка, напряжение его начинает несколько снижаться. Это явление, повидимому, объясняется тем, что с течением времени уменьшается наводороживание осадков.

На рисунке 51 приводится зависимость напряжений от времени электролиза. Изгиб катода, по величине которого и определялись внутренние напряжения, в начале электролиза быстро растет, потом интенсивность изгибания его постепенно снижается. Мы считаем, что в результате наводороживания и изгибаются образцы. Внутренние напряжения в электролитических осадках железа снижаются, если произвести их нагрев с целью удаления водорода до 200—300° С и дать выдержку в течение 2—3 часов.

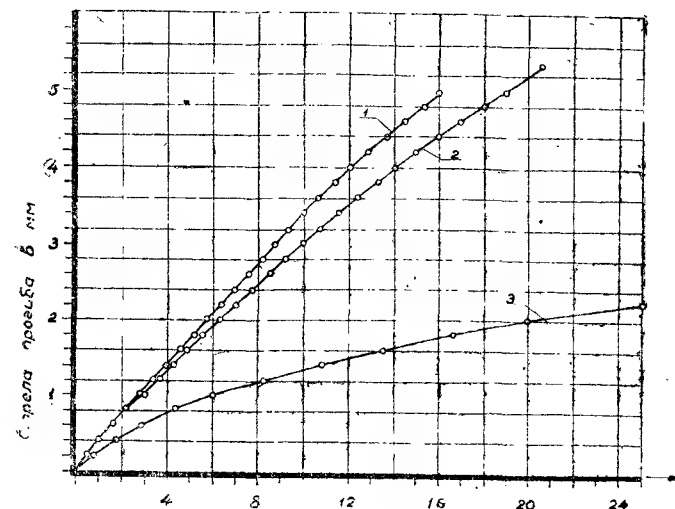


Рис. 51. Изгиб катода в зависимости от времени осаждения при различных температурах электролита

Технологический процесс железнения

Так же как и при хромировании технологический процесс состоит из подготовительных операций, из операций железнения, термической и механической обработки после железнения.

Достаточной практики восстановления автотракторных деталей методом железнения еще нет. Начинают применять железнение главным образом для восстановления посадочных мест, в первую очередь, и реже для восстановления трущихся деталей. Такие детали, как поршневой палец, цементированные шейки валов и кулачки, не могут быть восстановлены путем железнения по той причине, что электролитическое железо по твердости и износостойкости значительно уступает твердости закаленных сталей, применяемых в автотракторостроении. Хромирование в этом отношении имеет преимущества, так как износостойкость хрома и его твердость очень велики, поэтому хромирование часто применяют для высокоответственных деталей. Но железнение имеет ряд преимуществ перед хромированием, которые заключаются в большом выходе металла по току (при железнении), в возможности производить осаждение толстых слоев до 4 мм, и наконец, в том, что составляющие соли электролита для железнения являются более дешевыми, чем при хромировании.

Следовательно, при настоящем уровне техники металлопокрытий, железнение можно применять только для деталей, изготовленных из малоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей.

Кроме того, невысокая прочность сцепления сужает возможности применения железнения в ремонтном производстве и в данном случае. Следовательно, применять железнение мы можем, во-

первых, для деталей, имеющих износ в местах неподвижного соприкосновения и для круглых тел вращения при износе шеек.

В подготовительные операции входят, в порядке последовательного выполнения их, следующие:

- 1) механическая подготовка деталей;
- 2) обезжиривание деталей;
- 3) промывка в воде;
- 4) травление в растворе кислоты;
- 5) промывка в горячей воде;
- 6) загрузка в ванну железнения под током.

Механическая обработка с целью устранения конусности и овальности производится путем шлифования, механическая подготовка посадочных мест деталей при небольшом износе их будет заключаться в зачистке поверхности шкуркой или в зачистке на полировальном станке кругами с мелким наждаком.

Обезжиривают детали химически, в горячем растворе едкой щелочи или протирая места, подлежащие железнению, в густом растворе венской извести.

После обезжиривания обязательна промывка деталей в проточной воде. Качество обезжиривания определяется по степени смачивания водой подготавливаемых мест — вода будет равномерно растекаться, без перебоев, по всей поверхности, если обезжиривание сделано удовлетворительно. При промывании деталей водой следует тщательно удалить остатки щелочи.

Чтобы сцепление слоя с основным металлом было хорошим, нужно удалить с поверхности деталей окисную пленку, что достигается травлением их в 5—10% растворе серной кислоты. Начало травления отмечается по выделению пузырьков водорода. Как только этот процесс начнется, следует дать выдержку в течение 10—20 секунд, не более, так как при длительном травлении будет выделяться на поверхности стальной детали черная пленка, мешающая сцеплению.

После травления детали нужно промыть, желательно в горячей воде. Деталь при этом несколько нагреется и поэтому не потребуется выдерживать ее в горячей ванне (чтобы она приняла температуру электролита).

Детали всегда надо загружать под ток, так как ванна железнения имеет кислый раствор. Если детали загрузить в эту ванну без тока, то они будут просто растворяться и на поверхности выступит слой коллоидального графита или окисленного металла, что мешает хорошему сцеплению.

Травление деталей можно заменить декапированием, которое производится в рабочей ванне железнения путем переполюсовки штанг. Это будет процесс анодного травления.

Декапирование должно быть очень кратковременным (12—15 сек), чтобы на поверхности детали не успел выступить углерод или окись металла. Так как такое условие выдерживать трудно, то лучше оставить, как отдельную операцию, травление перед железнением, производя после травления промывку в воде.

Чтобы улучшить сцепление с основой, вначале следует дать ток, соответствующий $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ плотности тока, при которой производится железнение. Уменьшенный начальный ток будет способствовать образованию мягкого первичного слоя, менее насыщенного водородом, и это обстоятельство улучшает сцепление. Работать на пониженном токе потребуется 15—20 минут, чтобы покрытие первичным слоем было сплошным. Надо иметь в виду, что плотность тока распределяется по поверхности катода неравномерно, будут и такие участки, на которых вначале не будет никакого отложения. Очевидно, на таких участках удовлетворительного сцепления не получится. Следовательно, плотность тока должна быть снижена ровно на столько, на сколько это нужно для того, чтобы по катоду образовалось сплошное покрытие.

Нужно соблюдать хороший контакт подвески с катодной штангой и контакт подвески с деталью, иначе распределение тока вдоль штанги по отдельным деталям не будет одинаковым. Там, где имеется большое сопротивление в контактах, будет поступать ток незначительной величины и он может оказаться вообще недостаточным для электроосаждения, а данный катод подвергнется химическому травлению, особенно при высокой кислотности. Впоследствии осадок все же образуется, но сцепление будет совершенно неудовлетворительным. Поэтому, если нет уверенности в контактах подвески, лучше сначала, при загрузке, дать кратковременно высокую плотность тока (не более 30—40 сек.), чтобы электроосаждение началось по всей поверхности, затем снизить плотность тока на 15—20 мин. и после этого перейти на выбранную рабочую плотность тока.

В процессе железнения приходится часто регулировать кислотность электролита. Если регулировку производят периодически, добавляя некоторую порцию кислоты в электролит, то в осадке будет образовываться слоистость, причем каждый слой будет соответствовать моменту резкого изменения кислотности среды. Лучше постепенно добавлять кислоту в электролит из расчета 1 грамм в час на 1 литр, через капельницу.

Помутнение электролита указывает на недостаточную кислотность среды и, наоборот, бурное выделение пузырьков на катоде, а также на анодах, указывает на большее количество кислоты в растворе.

Наблюдать за работой ванны нужно по контрольным образцам (в виде пластинок), завешиваемым в количестве 2—3 штук на катодные штанги в разных ее участках. Время от времени эти контрольные образцы вынимают и просматривают, чтобы определить качество осадка, цвет и хрупкость его, а также характер покрытия. Нужно избегать темных и темносерых осадков, они имеют плохое качество и плохо сцепляются с деталью. Наросты на краях образцов указывают на завышенную плотность тока. Анодные пластины поочередно вынимают и промывают щеткой в проточной воде. При этом с них удаляется выступивший на поверхность углерод и окиси металла. Чистку анодов надо прово-

дить систематически, иначе в ванне будет накапливаться шлам, загрязняющий ванну и катоды.

При значительном испарении электролита нужно доливать в ванну горячую воду или горячий электролит, так как доливка холодной водой нарушает режим железнения и создает брак в покрытиях.

Допускаемая плотность тока зависит еще и от требуемой толщины осадка. Так, для получения тонких осадков можно допускать высокую плотность тока, и наоборот, для получения толстых осадков следует снижать плотность тока, иначе осадки будут трескаться от накопившихся внутренних напряжений или будут очень хрупкими.

После железнения детали промываются в воде и нейтрализуются в слабом щелочном растворе. С деталей снимаются подвески и изоляция, нанесенная до железнения в местах, не подлежащих железнению. Для изоляции применяются, как и при хромировании, изоляционные лаки — амолит и цалонлак, но более стойким при повышенных температурах электролита является нитролак. Наносить изоляционный лак следует в 2—3 слоя, после нанесения каждого слоя лак сушится и только после этого наносится следующий слой его.

Мы исследовали влияние последующей термической обработки на электролитическое железо и нашли положительный эффект ее. Твердость осадка при дополнительной термической операции повышается, а хрупкость снижается. Такое изменение механических свойств вызывается структурным изменением в результате перекристаллизации осадка.

Водород удаляют, нагревая осадки до 250—300°, причем нужно иметь в виду, что быстрое удаление водорода может деформировать осадок или вспучить его, так как на границе сцепления с основным металлом имеется больше водорода, чем в верхних слоях.

Прочность сцепления после удаления водорода повышается, вязкость осадка (определенная по числу перегибов пластинки) также возрастает.

Снижение хрупкости, увеличение твердости, а следовательно и износоустойчивости, а также более плотное прилегание к основному металлу и, кроме того, снятие внутренних напряжений осадка — есть искомая сумма положительных факторов, повышающих поверхностную прочность ремонтируемых этим способом деталей машин.

Итак, в результате термической обработки из осадка удаляется водород, а вследствие выдержки при этой температуре — происходит рекристаллизация осадка.

Термическую обработку деталей можно производить в масляной горячей ванне, подогретой до 200° с выдержкой в течение 2—3 часов. Термической обработке нужно подвергать все оже-
лезные детали.

После удаления водорода производится механическая обработка деталей под соответствующий размер или же деталь зачищается вручную, особенно по граням, и ставится на машину.

Все эти операции (в дополнение к подготовительным) производятся в следующем порядке:

- 1) железнение деталей и выгрузка их;
- 2) промывка деталей в воде и нейтрализация в слабом растворе щелочи;
- 3) удаление водорода и рекристаллизация осадка путем нагрева в нейтральной среде до 200—250° с выдержкой 2—3 часа;
- 4) обработка деталей под размер;
- 5) контроль деталей.

Время, необходимое для наращивания осадка заданной толщины, определяется по формуле:

$$t = \frac{h \cdot 10 \cdot \gamma}{K \cdot Dk \cdot \eta} \text{ часов, здесь:}$$

h — заданная толщина осадка в мм;

γ — удельный вес электролитического осадка = 7,2;

K — электрохимический эквивалент железа = 1,04 г/а — час;

Dk — плотность тока в а/дм², равная силе тока, деленной на поверхность покрытия;

η — коэффициент полезного действия ванны железнения = 0,80—0,90.

Скорость наращивания электролитического железа определяется по этой же формуле. Если приравнять время электролиза одному часу, то скорость наращивания будет равна:

$$h = \frac{K \cdot Dk \cdot \eta}{10 \cdot \gamma} \text{ мм/ч.}$$

При длительном железнении нарушается процесс электролиза, вследствие снижения перенапряжения водорода, поверхность осадка становится все более и более шероховатой и полезный выход металла по току начинает снижаться. Поэтому, если ставится задача получить толстый осадок, то необходимо обеспечить наибольшую чистоту электролита и анодов и выбрать такой режим работы (по контрольным образцам), при котором получается наиболее гладкая поверхность, и при выбранном режиме уже производить длительное железнение для образования толстых осадков.

Струйное, размерное и пористое железнение

Для струйного железнения требуются те же условия, что и для струйного хромирования. Применить метод струйного железнения крупных деталей вполне возможно и реализация этого метода будет экономически эффективной.

В лабораторных условиях мы производили несколько опытов по покрытию деталей, расположенных вне ванны: деталь в

виде вала медленно вращалась и на покрываемое место этой детали направлялась непрерывная струя электролита. Подключение постоянного тока производилось так, как показано на схеме (рис. 52).

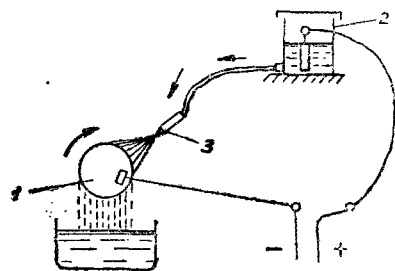


Рис. 52. Принципиальная схема струйного железнения деталей, расположенных вне ванны; 1—деталь; 2—ванна железнения; 3—насадка шланга, через которую льется электролит+; 4—сливная ванна, откуда электролит перекачивается в ванну железнения

глухие и сквозные, плоские участки крупных деталей, не вмещающихся в ванну можно покрыть слоем железа, по схеме, указанной на рисунке 53.

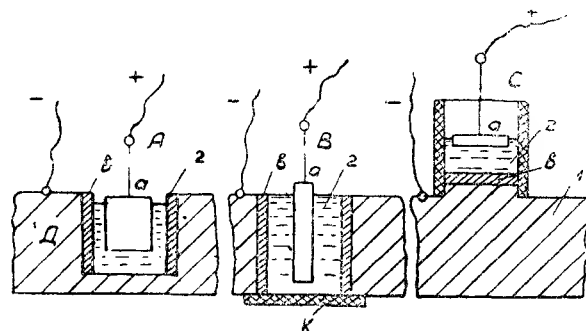


Рис. 53. Принципиальная схема железнения отдельных участков крупных деталей—А—гнездо детали, В—отверстие детали, С—выступ детали, К—временная нижняя крышка из кислотостойкого материала; 1—деталь, 2—электролит, 3—временная ванночка

На рисунке 53 показаны три варианта покрытий отдельных участков крупной детали. Вариант 1-й — участок покрытия в виде глухого отверстия; в это отверстие заливается раствор и подвешивается железный анод. Осадок откладывается на внутренней поверхности; к аноду подсоединен плюсовой провод, к детали подсоединен минусовой провод.

Другой вариант — участок покрытия в виде сквозного отверстия, снизу этого отверстия крепится изоляционный диск К

с целью предупреждения вытекания электролита вниз. Таким образом, в сквозном отверстии получилась гальваническая ванночка, в которую заливается электролит. Анод подвешивается внутри этого электролита, в середине отверстия и благодаря этому обеспечивается равномерное осаждение осадка внутри отверстия.

По такой схеме на Иркутском машиностроительном заводе им. В. В. Куйбышева в электроремонтном цехе организовано покрытие цинком отверстий у фланцев электрических моторов с целью восстановления посадочного места под подшипник. Практически получается экономический эффект.

Третий вариант — участок покрытия имеет вид выступа. Требуется нарастить на этот выступ слой определенной толщины. Вокруг этого выступа устраивается временная ванночка, внутрь ее заливается электролит. Затем ставится анод, имеющий форму диска. Покрытие выступа железом будет идти равномерно, так как форма анода соответствует форме катода.

Приведенные выше принципиальные схемы в производственных условиях могут быть уточнены по отдельным деталям. Эти схемы только отправные, примерные. Принципиальная возможность выполнения этих схем проверена в лабораторных условиях Иркутского сельскохозяйственного института.

Размерное железнение может осуществляться в большей мере, чем размерное хромирование, так как рассеивающая и кроющая способности ванн железнения гораздо выше, чем у ванн хромирования.

Равномерность покрытия детали хорошо обеспечивается круговым расположением анодов, что в практике не встретит затруднений. Однако надо заметить, что чистота и гладкость покрытия при железнении осуществляется несколько труднее.

Чтобы получить гладкие покрытия (настолько гладкие, что последующая механическая обработка не требуется), нужно работать на возможно низкой плотности тока, возможно высокой температуре электролита и несколько повышенной кислотности электролита. Чтобы избежать крупнокристаллической структуры, в хлористую ванну следует ввести вместо поваренной соли хлористый аммоний (нашатырь) в количестве 75—100 г/л. В результате введения в электролит хлористого аммония, осадок становится более плотным, и главное, более гладким, чем при введении поваренной соли. Наши исследования такой замены проводящей соли позволили выявить преимущества этой замены (см. ниже).

Работа производилась при температуре электролита 85—90°C

Влияние хлористого аммония на процесс железнения

1. Твердость покрытий выше на 15—20%, чем обычно.
2. Добавка имеет буферные действия на изменение кислотности, последняя уменьшается меньше в единицу времени, чем обычно.

3. Качество осадка улучшается в связи с изменением структуры его: кристаллы мельче, чем обычно.

4. Ванна менее капризна, требуется меньше регулировать кислотность.

5. Образцы допускают большее число перегибов, чем обычно, следовательно, вязкость, пластичность покрытий больше, чем обычно.

Размерное железнение желательно применять для восстановления посадочных мест на деталях простой формы, которые дефектуются при небольшом износе.

Пористое железнение по аналогии с пористым хромированием также может применяться на практике, так как зафиксировано несколько случаев появления хорошо заметной глазом сетки каналов и трещин на поверхности покрытия. Такие трещины были свойственны для серых и темносерых цветов осадка. (Случай относится к сернокислым ваннам). Мы, зафиксировав возможность образования сетки трещин, не производили в дальнейшем анодного травления их с целью углубления каналов, так как такая задача перед нами не стояла.

Оборудование гальванического отделения по железнению деталей

В качестве материала облицовки ванны железнения применяются диабазовые плитки, выкладываемые на кислотоупорном цементе, эмаль или ролый свинец (для сернокислых ванн). Такая облицовка на местах обычно отсутствует или же вообще является дефицитной и поэтому часто у нас возникали затруднения при выборе материала для ванн, особенно хлористых.

Для сернокислых ванн можно применять ванну с свинцовой облицовкой, но в такую ванну нельзя вносить ион хлора и применять проводящие соли можно только в виде сульфатов, так как иначе осадок получается недоброкачественным.

Были испробованы керамиковые, деревянные, стальные, чугунные, резиновые ванны и ванны из штучного материала. В конце концов, остановились на стальных и резиновых ваннах. Мы искали материал наиболее пригодный для условий МТС.

Для хлористого раствора была испробована несколько резиновая ванна, изготовленная из старой автокамеры. Такая ванна оказалась вполне устойчивой и осталась в хорошем состоянии после полугодовой работы, при ежедневных опытах. В такой ванне производилось и растворение стружек.

Чугунные ванны из кремнистого чугуна проверены на МАРЗ-2 (13) и являются все же довольно прочными, так как растворяются незначительно. Очевидно, для того, чтобы снизить интенсивность растворения стенок этих ванн, надо работать на пониженной кислотности. Во всяком случае, чтобы сохранить ванну, не следует держать в хлористой ванне соляной кислоты более 2 г/л. Постепенное растворение стенок чугунной ванны не является тормозом, так как через год ванна самокупается; срок же службы этих ванн больше года.

На рисунке 54 дан эскиз ванны железнения, изготовленной из чугуна, электролит которой подогревается электрическими спиралями накаливания.

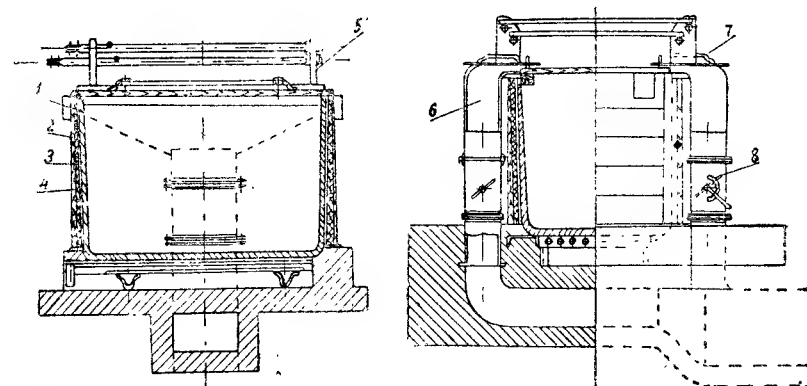


Рис. 54. Эскиз ванны железнения с электроподогревом: 1 — чугунная ванна; 2 — асбестовая изоляция; 3 — вилочные прокладки; 4 — деревянная обшивка; 5 — устройство для подвески деталей; 6 — бортовая вентиляция; 7 — задвижки; 8 — дроссельные заслонки

Ванна железнения не имеет обычной водяной рубашки, а подогрев чугунной ванны производится электрическим способом, через спирали накаливания, расположенные подо дном ванны в специально выложенном из кирпича колодце. Снаружи чугунная ванна защищена теплоизоляционной обшивкой. Вытяжка вредных газов организована при помощи бортовых отсосов (как и при хромировании), имеющих над электролитом приемную щель высотой 40 мм.

Бортовые отсосы, расположенные по бокам ванны, спускаются вниз в приемный колодец, находящийся под ванной.

Электроподогрев разбит на несколько секций. Каждая из них включается независимо от остальных, благодаря чему хорошо регулируется достижение заданной температуры.

Необходимые для обеспечения заданной температуры электролита размеры спиралей накаливания определяются из теплового расчета ванны.

Чтобы определить общий расход тепла на подогрев ванны, надо учесть количество тепла, потребного на подогрев стенок ванны, на подогрев электролита, тепловые потери на конвекцию и излучение тепла стенками, потери на испарение электролита и т. д.

Зная общий расход тепла:

$$Q_{\text{общ.}} = \sum Q$$

можно определить и потребное количество электрической энергии, преобразуемой в тепловую энергию.

$$\frac{Q_{\text{общ. 1000}}}{\eta} = 0,24 I E t$$

здесь: η — коэффициент полезного действия электроподогревателя = 0,75 — 0,85;

I — сила тока в амперах;

E — напряжение подводимого тока в вольтах;

t — время в секундах.

Зная напряжение, можно найти требуемую силу тока;

$$I = \frac{Q_{\text{общ. 1000}}}{0,24 \eta E t} \text{ ампер}$$

Тогда общая мощность, расходуемая электроподогревателем, будет равна:

$$W = I E$$

А общее сопротивление — R :

$$R = \frac{E}{I} \text{ ом.}$$

Подобрав диаметр проволоки или ленты, находим общую длину спиралей накаливания:

$$l = \frac{R q}{\rho} \text{ где:}$$

l — общая длина проволоки всех секций в м;

R — общее сопротивление подогревателя всех секций в омах;

q — сечение проволоки в мм²;

ρ — удельное сопротивление.

В ванне железнения иногда делается паровоздушная или водяная рубашка, которая подогревается паропроводом, выложенным на дне ванны.

Различные варианты изготовления ванн железнения по этому принципу приводятся на рисунке 55.

Электролит, находящийся в железной ванне, как по первому, так и по второму вариантам, будет растворять материал стенок с той интенсивностью, которая определяется кислотностью раствора; в силу этого желательна толщина стенок железной ванны брать не менее 6 мм.

Подогрев электролита по первому варианту производится сухим паром, пропускаемым в просвет между наружной и внутренней ванной, или пар пропускается через змеевик, выложенный на дне наружной ванны в водяной рубашке. Такой метод подогрева может обеспечить температуру нагрева электролита до 90—95° С.

По другому варианту вводится электроподогрев, который располагается под наружной ванной. Имеется водяная рубашка, внутри которой находится железная или резиновая ванна.

Резиновая ванна изготавливается из автокамерной резины, вулканизируется из отдельных пакетов и монтируется в деревянной рамке, устанавливаемой в железной ванне на подставках. При

наличии резиновой ванны (сравнительно слабо проводящей тепло) следует рассчитывать, что предельная температура электролита будет равна 85—90° С. В такой ванне можно свободно растворять железную стружку.

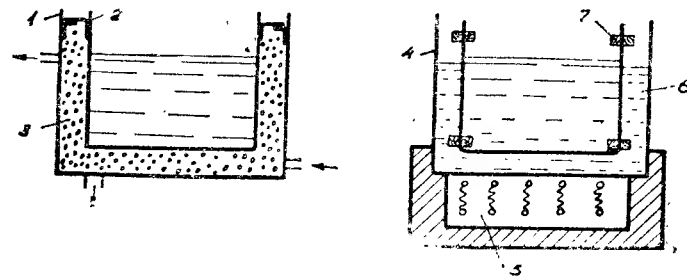


Рис. 55. Схемы устройства ванны железнения: 1—наружная ванна; 2—внутренняя ванна; 3—паровая рубашка; 4—наружная ванна; 5—электроподогрев; 6—водяная рубашка; 7—резиновая ванна

Если внутри устанавливается железная ванна, то толщину стенок внутренней ванны следует брать не менее 6 мм; наружные ванны свариваются из листового железа толщиной 2—3 мм.

Для обоих вариантов обязательно устройство бортовой вентиляции, так как сернокислые и особенно хлористые ванны являются вредными для обслуживающего персонала.

Нормы отсоса воздуха с 1 м² зеркала электролита железнения следует принимать равным 80—100 м³/мин., то есть более высокими, чем при хромировании.

Водяная рубашка может быть заменена масляной рубашкой, в целях уменьшения испарения и большего аккумуляирования тепла. Однако, в этом случае нужно принимать меры предосторожности от загорания масла — при наличии сухих подогревателей.

Положительные результаты дает электродный подогрев всяких растворов. Электроды находятся в подогреваемой жидкости на близком расстоянии (10—30 мм) друг от друга, причем это расстояние регулируется. Изготавливаются эти электроды в виде стальных пластин.

Омическим сопротивлением является слой жидкости, расположенный между электродами. Ток, преодолевая это сопротивление, оказывает тепловое действие на раствор, значимость которого определяется законом Джоуля-Ленца.

Такой способ подогрева, хотя он и является очень быстрым, все же не может обеспечить надежное и точное регулирование температуры электролита.

Итак, наиболее надежный из всех перечисленных подогревов электролита это — подогрев при помощи пара, и его надо применять в первую очередь. Во вторую очередь следует применять сухой электрический подогрев, выбранный для этих целей МАРЗ-2 (13).

Для ремонтных мастерских, имеющих годовую производственную программу металлопокрытий до 5000 дм², достаточно установить одну ванну железнения емкостью 250—300 литров. Все оборудование этого отделения будет состоять из следующих приборов и машин:

1. Ванна железнения емкостью 250—3000 литров 1 шт.
2. Ванна химического или электролитического обезжиривания, с подогревом, емкостью 150—200 л. 1 шт.
3. Ванна травления 50% H₂SO₄, резиновая или железная, покрытая внутри асфальтовым лаком, без подогрева, емкостью 50—100 литров . . . 1 шт.
4. Ванна с горячей водой для промывки деталей, емкостью 50—100 л. 1 шт.
5. Ванна с холодной проточной водой для промывки деталей 1 шт.
6. Полировальный станок 1 шт.
7. Генератор постоянного тока 6/12 в., 250 а . . 1 шт.
8. Электромотор, 2,5 квт 1 шт.
9. Распределительные щиты с измерительными приборами, рубильниками и реостатами для электромотора и для генератора, а также для ванны железнения и ванны электролитического обезжиривания 2 шт.
10. Слесарный верстак для монтажа подвесок . . 1 шт.
11. Стеллажи для деталей 2 шт.
12. Шкаф для химикатов 1 шт.
13. Стол для контроля электролита 1 шт.
14. Набор полировальных кругов 1 комп.
15. Набор подвесок для разных деталей 1 „
16. Вентилятор № 3 1 шт.
17. Электромоторы для вентилятора 3,0 квт . . 1 шт.
18. Сушильный шкаф 0,5×1,5×1,0 1 шт.

Шлифовка деталей до и после железнения, а также последующий нагрев деталей с целью удаления водорода производится в других цехах и отделениях мастерской, а поэтому это оборудование здесь не предусматривается.

Потребная производственная площадь для такого гальванического отделения составит 35—45 м².

Сушильный шкаф изготавливается обычно с электрическим подогревом, которым детали нагреваются до 200° С, причем регулировка температуры нагрева производится отключением от сети разных секций.

Необходимое количество проволоки для спиралей накаливания определяется тепловым расчетом. Количество тепла, необходимое для нагрева загружаемых деталей, за 1 час составит:

$$Q = gc (t_2 - t_1) \text{ ккал}$$

Q — количество тепла для подогрева в больших калориях;
с — теплоемкость металла деталей кал-град/кг;
t₁ — начальная температура ° С;
t₂ — конечная температура ° С;
g — вес загружаемых деталей в кг.

Зная общее потребное тепло, можно найти и расход электрической энергии. По закону Джоуля-Ленца:

$$Q = 0,24 I^2 R t = 0,24 I E t, \text{ где:}$$

Q — тепловая энергия в малых калориях;

I — сила тока в А;

E — напряжение в сети в вольтах;

t — время в секундах.

Откуда сила тока электроподогревателя равна:

$$I = \frac{Q \cdot 1000}{0,24 \cdot E \cdot t \cdot \eta} \text{ ампер;}$$

η — коэффициент, учитывающий тепловые потери сушильного шкафа в размере 10—20%;

Соппротивление каждой секции:

$$R_n = \frac{E}{I} n$$

где n — число секций.

Таким образом на одну секцию потребуется проволоки

$$l = \frac{R_n \cdot q}{\rho} \text{ метров.}$$

Технологический процесс железнения автотракторных деталей. Брак при железнении

Восстанавливать посадочные места можно хромированием и железнением. Но, например, восстановление монтажных поверхностей обойм подшипников качения, имея в виду высокую прочность спечения хрома, лучше производить хромированием, а не железнением.

Восстановление же посадочных мест на валах и вкладышах, имеющих значительную длину, лучше производить методом железнения, так как это можно сделать и быстрее и дешевле, нежели при хромировании.

Зерноградский научно-исследовательский институт Министерства совхозов (16) в 1949 г. успешно применял метод железнения для восстановления посадочных шеек валов коробки передач трактора С-80. Ремонт этих же шеек наваркой давал отрицательные результаты.

Конечно, железнение можно применять также и для восстановления участков трения деталей простой формы, хотя еще достаточного опыта в этом направлении нет.

Технологический процесс ремонта посадочных мест автотракторных деталей складывается из следующих операций:

1. Зачистка посадочных мест наждачной шкуркой.
2. Изоляция участков, не подлежащих железнению. Эти места смазываются нитролаком 2—3 раза с просушкой после нанесения каждого слоя.
3. Монтаж подвесок.
4. Обезжиривание деталей протиранием покрываемых мест раствором венской извести.
5. Промывка в проточной воде.
6. Травление в 5—10% растворе H_2SO_4 1—2 мин.
7. Промывка в горячей воде, с целью нагрева деталей, чтобы в ванну железнения не загружать их холодными.
8. Загрузка деталей под током в ванну железнения. В течение 0,5 часа плотность тока дается ниже рабочей в два раза.

Состав электролита: $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ 500 г/л;

$NaCl$ 150—200 г/л;

HCl 1,5—2,5 г/л.

Температура электролита 90—95° С, плотность тока 8—10 а/дм².

Аноды следует располагать с четырех сторон, электролиз вести по расчетному времени.

9. Выгрузка деталей из ванны, снятие подвесок и изоляции, промывка деталей в воде и сушка.

10. Нагрев деталей в масляной ванне до 200° в течение 2—3 часов с целью удаления водорода из осадков и рекристаллизации электролитического железа.

11. Зачистка деталей и контроль.

Другой случай применения железнения касается восстановления наружной посадочной поверхности бронзовых втулок верхней головки шатуна.

В связи с тем, что на бронзе перенапряжение водорода больше, чем на стали, сцепление с основой будет лучше и наводораживание первичного слоя будет меньше.

Технология ремонта втулок состоит из следующих операций:

1. Установка втулок на стержень подвески, чтобы внутренняя поверхность втулок не покрывалась.
2. Обезжиривание наружной поверхности втулок тщательным протиранием раствором извести.
3. Тщательная промывка втулок водой.
4. Загрузка втулок в ванну железнения под гоком. Железные втулки.
5. Промывка втулок после железнения, снятие их с подвесок, сушка.
6. Нагрев втулок в масляной ванне до 150—200°, в течение 2 часов.
7. Зачистка втулок и контроль.

Путем железнения можно восстанавливать шейки коленчатых валов. Валы можно располагать в ванне как вертикально,

так и горизонтально, в зависимости от размеров ванны. Так как понадобится отложение толстого осадка, то нужно принять меры к тому, чтобы ванна не загрязнялась шламом, чтобы кислотность и режим работы чаще корректировались. Плотность тока брать на низком пределе.

Неполадки при железнении (15) имеют место в следующих случаях:

1. Если покрытия на деталях не образуется, то это может быть вследствие чрезмерно высокой кислотности, или вследствие плохого контакта у этой детали.

2. Если покрытие идет медленно и выход металла по току малый, то это указывает на повышенную кислотность.

3. Если осадок темнеет и образует шероховатости на покрытии, то это происходит вследствие низкой температуры и повышенной плотности тока.

4. Выпадение коричневой мути в электролите происходит вследствие заниженной кислотности.

5. Образование хрупких осадков, появление наростов на краях и ребрах деталей происходит из-за высокой плотности тока.

6. Плохое сцепление осадка с основой происходит из-за плохой подготовки или же вследствие того, что электролиз производился в загрязненном электролите и на низкой кислотности.

Глава V

ПОКРЫТИЕ ДЕТАЛЕЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ И ГАЛЬВАНОТЕРМИЧЕСКИМИ СПЛАВАМИ

Электролитические сплавы

Электролитические сплавы образуются на катоде в результате соосаждения двух-трех металлов. Металлы осаждаются на катоде одновременно, образуя смешанные из этих металлов кристаллические решетки.

Сплавы, получающиеся на катоде путем электролиза смешанных солей, мы называем, в отличие от получаемых обычно в расплавленном состоянии, электролитическими или гальваническими сплавами. По аналогии можно сослаться на то, что в ремонтной практике широко применяется для восстановления деталей металлизация распылением. Такие покрытия в ремонтном деле называют напыленными.

Ремонт автотракторных деталей должен производиться таким образом, чтобы служебные качества деталей после ремонта не были бы понижены. Это возможно будет тогда, когда гальванические покрытия будут производиться такими же металлами или сплавами, как и те, из которых изготовлены ремонтируемые детали.

Нет ни одной детали в машине, которая была бы изготовлена из одного чистого металла (железа, меди, алюминия и т. д.); для изготовления деталей машин применяются сплавы железноуглеродистые, сплавы из цветных металлов и т. д. Поэтому покрывать ремонтируемые детали чистыми металлами, например, покрывать сталь железом, цинковые сплавы цинком, бронзовые изделия медью и т. д., не совсем целесообразно, так как служебные качества деталей после ремонта не возвращаются.

Вполне обоснованными, поэтому, следует считать наши стремления использовать для ремонта машин покрытия из разных металлов, образующих сплав.

Целесообразность применения в ремонте гальванических покрытий убедительно доказывается при рассмотрении предельных износосов, по которым дефектуется деталь. Износы некоторых деталей по величине настолько незначительны, что для устранения их достаточно даже тонких гальванических осадков.

В практике гальванотехники уже накопилось много экспери-

ментального и теоретического материала по покрытиям сплавами, которые пока еще не находят применения в нашей промышленности. Последнее, очевидно, объясняется тем, что полученные сплавы не обеспечивали антикоррозионных или защитных требований. Для восстановления изношенных деталей машин электролитические сплавы также не применялись.

Вопрос получения электролитических сплавов стоял и стоит на границе двух наук — электрохимии с одной стороны и машиностроительной и ремонтной техники с другой стороны. Там, где кончается одна область знаний и где начинается другая, — находятся слабые звенья в общей цепи науки и техники.

Поэтому, как нам представляется, накопившийся в гальванотехнике опытный материал по различным сплавам и не мог использоваться в ремонтной технике.

Ремонт автотракторного парка занимает большое место в народном хозяйстве. Для ремонта автомобилей и тракторов создана целая сеть ремонтных предприятий, заводов и мастерских, где гальванический способ ремонта может оказаться экономически весьма эффективным.

В курсах гальваностегии и в другой технической литературе приводятся результаты различных опытов по электролитическим сплавам и различных применений этих сплавов. Так, например, известны результаты исследований и результаты применений в практике совместного осаждения железа и никеля, меди и цинка, меди и олова, цинка и кадмия, железа и молибдена, свинца с другими металлами и т. д.

Многие из уже имеющихся сплавов могли бы найти применение в ремонтной технике, хотя требования ремонтного производства и являются специфичными, особыми.

Зная требования ремонтного производства, можно имеющиеся сплавы отработать и получить их более приемлемыми для ремонтного дела.

Возможности получения электролитических сплавов определяются следующими условиями. Для соосаждения двух металлов, прежде всего, требуется, чтобы потенциалы выделения этих металлов были равны или близки друг к другу.

Имеется очень много внешних факторов воздействия на электролиз, чтобы можно было изменять эти потенциалы в желаемую сторону. К таким внешним факторам воздействия мы относим изменение концентрации солей в электролите, изменение температуры и кислотности электролита, плотности тока, внесение добавок в раствор с целью получения комплексобразователей и т. д.

По представленным схемам расположения поляризационных кривых двух металлов можно заранее сказать (10) о возможном соосаждении этих металлов для имеющихся условий.

На рисунке 56 представлены поляризационные кривые двух металлов — металла А и металла В; причем, из них металл А менее электроотрицателен, а металл В более электроотрицателен.

Поляризационная кривая металла В сильно отклонена вправо, а у металла А поляризационная кривая развита гораздо меньше. При таком расположении кривых вытекает, что соосаждение двух металлов А и В становится тем менее возможным, чем больше плотность тока. При малой плотности тока кривые сближаются и поэтому больше возможностей соосаждения двух металлов.

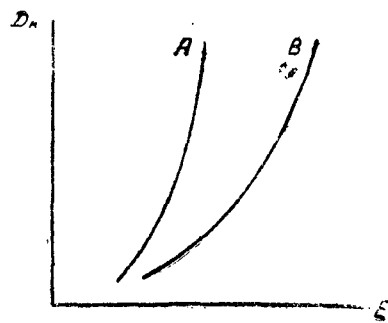


Рис. 56. Поляризационные кривые двух металлов, совместное осаждение которых затрудняется с повышением плотности тока

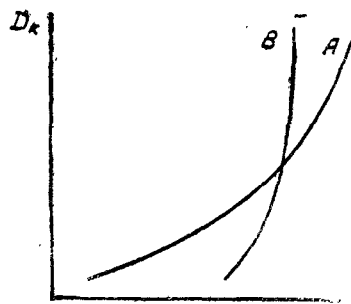


Рис. 57. Поляризационные кривые двух металлов, совместное осаждение которых облегчается с повышением плотности тока

На рисунке 57 представлены (10) поляризационные кривые, расположенные иначе; здесь, наоборот, катодная поляризация больше у менее электроотрицательного металла А и соосаждение металлов А и В становится более возможным при увеличении плотности тока.

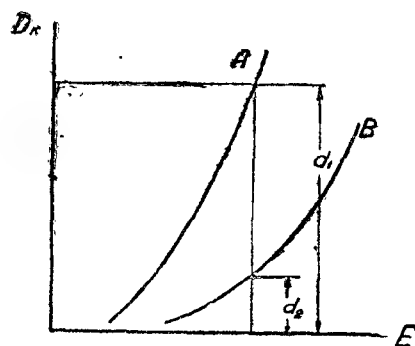


Рис. 58. Поляризационные кривые двух металлов и их выход по току

На рисунке 58 расположение поляризационных кривых таково, что металла А будет выделяться больше, чем металла В. Выход металла А будет равен:

$$\eta_A = \frac{d_1}{d_1 + d_2},$$

а выход металла В будет равен:

$$\eta_B = \frac{d_2}{d_1 + d_2}$$

Правило, поясняющее возможность соосаждения двух металлов и представленное в трех вариантах на рисунках 56, 57 и 58 является верным в принципе, так как незначительные отклонения его имеют место в практике. Так, например, железо является более электроотрицательным металлом, чем никель, но железо, в смешанной ванне отлагается предпочтительнее перед никелем.

Тем не менее, основное положение, приведенное выше, правильно ориентирует нас при эксплуатации смешанных ванн, при электролизе сплавов.

В дальнейшем мы будем различать гальванические, или электролитические сплавы и гальванотермические сплавы, к которым мы относим сплавы, полученные после дополнительной термической операции, после цементации углеродом гальванического покрытия.

Так, например, гальванический сплав железо-никель, после науглераживания его методом хотя бы обычной цементации будет являться уже тройным сплавом: железо-никель-углерод и по своим свойствам будет напоминать легированную сталь, применяемую, например, для изготовления ответственных шестерен.

Содержание никеля при этом имеется в виду в количестве до 30%, то есть в количествах, обычно применяемых в машиностроении. Иногда называют гальванотермическими такие сплавы, смешение металлов у которых и диффузия их произошла в результате термической обработки. В этом случае гальваническое покрытие двух металлов производится послойно, то есть сначала откладывается слой одного металла, потом на него откладывается слой другого металла и т. д.

Такой поочередный слоистый осадок (толщина слоя — незначительная) подвергается термической обработке — нагреву в течение продолжительного времени (от 3 до 24 часов), чтобы обеспечить диффузию их на определенную толщину при температуре 800—1000° в атмосфере водорода.

Покровение может быть и однослойным, и тогда сплав достигается диффузией верхнего металла в нижний. Так, например, медные прутки (10) покрывались никелем, а никелевые прутки покрывались электролитической медью при толщине слоя 1 мм.

Последующая термическая обработка производилась в атмосфере водорода при температуре 1000—1025° С, при этом оказалось, что за 120 час. глубина проникновения никеля в медь оказалась равной 0,57 мм, а глубина проникновения меди в никель была равна 0,15 мм.

Другой пример приводится (10) для послойного покрытия железных образцов. Эти образцы сначала покрывались никелем в ванне никелирования, а потом покрывались медью в ванне меднения.

Затем производилась термическая обработка при температуре 800—1000° С с выдержкой при этом от 3 до 24 часов. Если наносились слои незначительной толщины, то в результате диффузии металлов, происходящей при нагреве, на поверхности же-

лезных образцов получили медно-никелевый сплав, неоднородный по своему содержанию в сечении шлифа. Так, непосредственно на поверхности образца замечается диффузионный слой $\text{Fe}-\text{Ni}$; дальше идет сплав $\text{Ni}-\text{Cu}$; и ближе к поверхности — слой чистой меди.

Для целей ремонтного производства такие сплавы, при настоящем состоянии техники ремонта, не являются пригодными, так как для их получения требуется очень длительный нагрев и толщина этих покрытий практически очень незначительна. Кроме того, надо учесть еще неоднородную структуру таких покрытий.

Мы коснулись этого метода получения сплавов, так как вопрос шел вообще об электролитических сплавах, получаемых различными путями. К гальванотермическим же сплавам мы относим те сплавы, которые получаем в тех случаях, когда дополнительный элемент (металл и металлоиды) вводится в гальваническое покрытие путем термообработки.

Углерод, например, вводится путем обычной цементации с той целью, чтобы покрытие, имеющее в основе железо, получило бы в дальнейшем служебные качества машиноподелочной стали. Посредством электролиза на деталь наносится слой железа. Впоследствии такое покрытие цементируется углеродом, и мы получим обычную углеродистую сталь.

Путем электролиза на деталь наносится слой гальванического сплава железо-никель. При термической обработке это покрытие науглераживается и мы получаем машиноподелочную никелевую сталь.

В первом случае у нас был пример двойного гальванотермического сплава, во втором случае дан пример тройного гальванотермического сплава.

При исследовании этого вопроса оказалось, что на основе железа можно получить различные сплавы, пригодные для ремонта автотракторных деталей.

Перечень этих сплавов, частично заимствованных из технической литературы и частично полученных при наших исследованиях, приведены в диаграмме, изображенной на рисунке 59.

На этой диаграмме в числе бинарных сплавов указан один железоуглеродистый сплав, который является гальванотермическим. Из числа тройных сплавов приводятся как гальванические ($\text{Fe}-\text{Cr}-\text{Ni}$), так и гальванотермические сплавы ($\text{Fe}-\text{Ni}-\text{C}$).

Остальные сплавы нами не проверялись и приведены из литературы. В дальнейшем описании мы коснемся только некоторых из приемлемых для восстановления автотракторных деталей сплавов, проверенных нами в лабораторных условиях.

Сплавы железа с никелем, марганцем и хромом образуют такую группу сплавов, которые можно применять для восстановления ответственных автотракторных деталей, изготовленных из износостойкой стали.

Гальванотермический сплав железо-углерод может применяться для восстановления деталей простой формы (имея в виду

последующую термообработку), а также как износостойкое покрытие чугунных изделий.

Гальванотермические сплавы с присутствием $\text{Co}-\text{W}-\text{Cr}$ могут применяться для восстановления изношенного режущего инструмента, и как покрытие нового режущего инструмента, изготавливаемого из простой углеродистой стали.

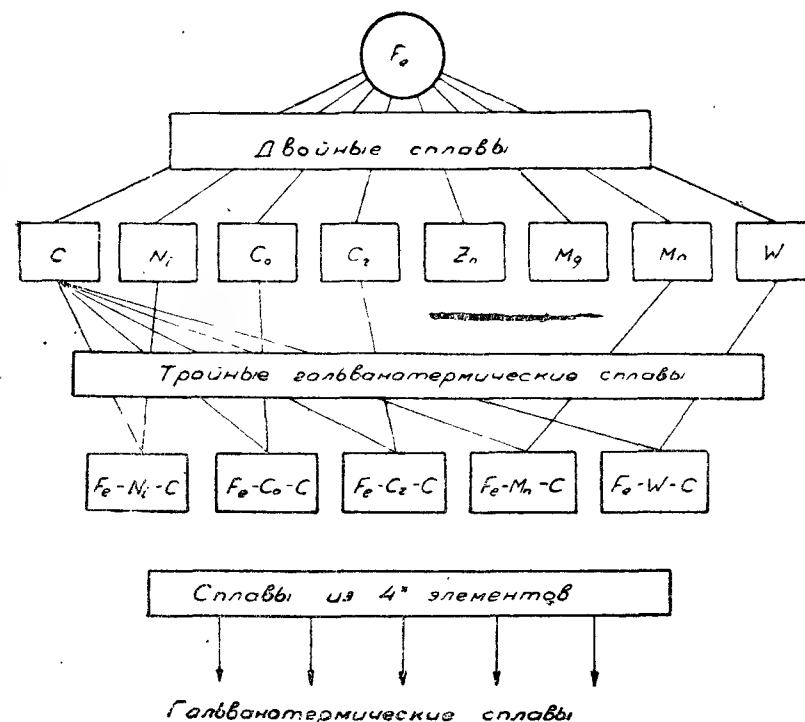


Рис. 59. Схема двойных и тройных сплавов, полученных на основе железа

Остальные сплавы найдут различное применение в ремонтной технике, что определяется степенью экономии средств и материалов при ремонте автотракторного парка (мы имеем в виду при этом, что некоторые соли, например, $\text{Co}-\text{Ni}-\text{W}$ — являются дорогими и дефицитными).

В дальнейшем мы будем описывать схему технологического процесса в общих чертах, так как производственной проверки этих сплавов в эксплуатации не было.

Гальванотермический сплав железо-углерод. Получение и применение его для ремонта автотракторных деталей

Покрытие деталей железоуглеродистым сплавом заключается в том, что сначала деталь покрывается в ванне железнения слоем железа, а после соответствующей подготовки деталь науг-

лерируется обычными методами цементации стали или цинирования.

Полная схема технологического процесса покрытия деталей сплавом Fe—C включает следующие ремонтные операции:

1. Подготовительные операции: механическая подготовка, изоляция мест, не подлежащих железнению, завеска подвесок, обезжиривание деталей и промывка их. Травление и промывка.

2. Железнение деталей на требуемую толщину в сернокислой и хлористой ванне.

3. Снятие подвесок, снятие изоляции, промывка деталей и сушка.

4. Нагрев в масляной ванне или в другой нейтральной среде до температуры 200—250° С с выдержкой 2—3 часа, с целью удаления водорода и рекристаллизации осадка.

5. Цементация деталей в твердом карбюризаторе.

6. Механическая обработка деталей.

7. Закалка деталей в масляной ванне и отпуск.

8. Шлифовка деталей под окончательный размер.

Надо обратить внимание на обязательность проведения операции удаления водорода, которая обычно производится при малой скорости нагрева и невысокой температуре. Быстрый нагрев изделий, например, до температуры цементации, вызывает вздутие и отслаивание покрытий, что объясняется давлением водорода, находящегося внутри осадка, которое не проявляется при малых нагревах.

Кроме того, следует отметить еще и то обстоятельство, что в некоторых случаях электролитическое железо проявляет свойства аномальной стали, то есть распределение углерода по сечению осадка происходит неравномерно и имеются белые пятна, не насыщенные углеродом. Это объясняется, по нашему мнению, тем, что предварительное удаление водорода и рекристаллизация осадка проведены были не в полной мере.

Электролитическое железо, после удаления водорода, хорошо цементируется, углерод распределяется равномерно. При цементации происходит диффузия углерода в основной металл, если содержание углерода в нем незначительно и, наоборот, углерод переходит из основы в осадок, если основа состоит из высокоуглеродистой стали или из чугуна.

Сцепление осадка с основой при этом значительно улучшается.

Электролитическое железо, полученное в хлористых ваннах, также хорошо цементируется. Это было проверено в производственных условиях (13), но сведений о том, что производилась цементация конкретных автодеталей, — нет.

При освоении на местах смешанного гальванотермического процесса вполне вероятным окажется восстановление этим методом ответственных деталей, у которых с целью высокой износостойкости производилась цементация с поверхности.

Гальванические сплавы железа с различными металлами

Из диаграммы, приведенной на рисунке 59 видно, что имеются реальные результаты получения сплавов железа с разными металлами. Так, например, мы в своих исследованиях получили сплавы железа с никелем, кобальтом, марганцем, хромом, вольфрамом и цинком. Из литературных источников известны совместные соосаждения, в определенных условиях, двух металлов, как-то железа и никеля (10), железа и хрома, железа и вольфрама, железа и молибдена.

Гальванический сплав железо-никель изучался нами с целью последующего получения никелевой цементированной стали, пригодной для восстановления шестерен, шлицевых валков и т. д. В такой стали никеля содержится не более 2%, следовательно, для целей ремонта машин нужно было получать железо-никелевые гальванические сплавы, с малым содержанием никеля. Нужно было получить никеля в этом сплаве не более 2%.

Наши опыты в этом направлении дали следующие результаты. Потенциалы выделения никеля и железа почти одинаковы, причем железо является даже более электроотрицательным металлом, чем никель, но проведенные нами опыты показали, что железо осаждается на катоде преимущественно перед никелем. Так, например, оказалось, что для того, чтобы получить в осадке 2% никеля, нужно вводить никелевую соль в электролит в количестве 12% от имеющихся в растворе солей железа и никеля. На рисунке 60 представляется графическая зависимость между количеством никеля в катодном осадке и концентрацией его солей в электролите. Опыты производились в сернокислой ванне, содержащей сернокислосое железо и сернокислый никель.

Температура раствора 70—75° С, $D_k = 4—5$ а/дм², показатель концентрации водородных ионов pH = 2,6—2,8.

Аноды завешивались железные и никелевые. Состав электролита:

FeSO₄·7H₂O 150—200 г/л; Na₂SO₄·10H₂O 100 г/л; H₂SO₄ — 2—4 н/л; NiSO₄·7H₂O — в разных количествах.

Из проведенных опытов вытекает, что для получения никеля в осадке, в количестве от 1% до 2%, в электролит этой ванны нужно вводить NiSO₄·7H₂O в количестве 6—10% от общего количества солей железа и никеля в растворе. Полученные осадки мы исследовали на изменение их твердости после термической обработки при невысоких температурах.

Твердость покрытий измерялась на приборе Виккерса (9), по таблицам переводилась на шкалу Бринелля.

Нагрев образцов производится вместе с печью. Образцы были заключены в сосуд, наполненный отработанным карбюризатором и обмазанный глиной.

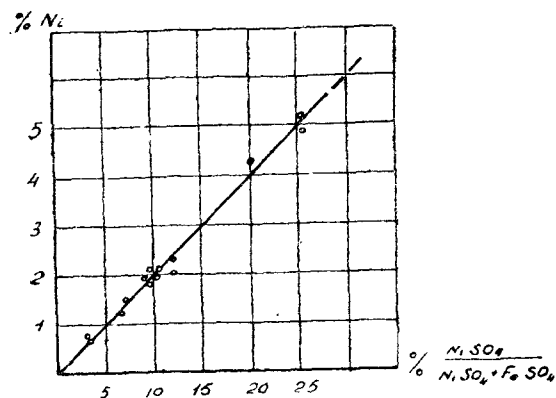


Рис. 60. Зависимость между количеством никеля в осадке и концентрацией NiSO_4 (его солей) в электролите

Последующее охлаждение образцов производилось вместе с печью. Результаты некоторых таких исследований указаны в таблице 27.

Таблица 27

Изменение твердости покрытий Fe—Ni в результате удаления водорода из осадка после термической обработки

№№ опы-тов	Термический режим			Твердость по-крытий		%, % увели-чения или уменьше-ния твер-дости
	темпе-ра-тура на-грева °C	вре-мя вы-держки в часах	охлаждение	до удале-ния водо-рода	после уда-ления во-дорода	
1	300	2	Вместе с печью	279	365	+31
3	400	4	"	270	265	—1,9
28	300	3	На воздухе	210	235	+11,
2	250	0,5	Вместе с печью	270	362	+11,9
11	230	6—45 мн.	"	198	192	—3,0
18	390—410	5	"	192	166	—13,5
18	500	2	"	192	143	—25,5
17	300	3	"	198	221	+11,1
17	300	4	"	185	216	+17,0
17	300	4	"	176	221	+19,9
26	350	3	"	185	243	+31,3
42	350	3	"	202	248	+22,7
51	300	4	"	187	227	+21,4
52	300	3	"	187	243	+30
52	350	3	"	207	237	+15

Данные таблицы 29 показывают, что средний нагрев до 200—300°, в течение 2—3 часов увеличивает твердость покрытий. Если же повысить температуру нагрева или повысить выдержку в печи (что менее активно действует), то твердость покрытия, наоборот, начинает уменьшаться, следовательно, здесь мы имеем различные структуры электролитических осадков, не связанные с наличием водорода.

Повышенная твердость при нагреве осадков до 200—300° объясняется рекристаллизацией осадков, и наличие водорода здесь имеет второстепенное значение. Как видно из таблицы 29, при дальнейшем нагревании твердость после некоторого перепада начинает уменьшаться и становится меньше первоначальной. Следовательно, условия электролиза могут предопределять эффект рекристаллизации осадка: электролиз с повышенной температурой электролита или с пониженной плотностью тока, при той же температуре, будет способствовать образованию структуры, у которой эффект рекристаллизации будет меньше. Осадки из горячих хлористых ванн показывают менее значительное повышение твердости при одинаковых нагревах. Для практических целей нагрев до 200—250° с выдержкой 2—3 часа является наиболее целесообразным, так как при этом наблюдается наибольшее повышение твердости.

Прочность сцепления электролитического осадка Fe—Ni и Fe—Co с основным металлом в 1,5—2,0 раза выше, чем прочность сцепления электролитического железа с основой.

Прочность сцепления покрытий из сплава Fe—Ni достигала в наших опытах 1000—1200 кг/см², тогда как прочность сцепления покрытий, полученных из ванн железнения, равнялась 500—700 кг/см².

Известно, что прочность сцепления электролитического никеля со сталью — очень высокая. В данном случае даже незначительная добавка в электролит солей никеля улучшает сцепление, создавая разнородность материалов.

Опыты, проведенные в ТИМЭСХ в 1948 г., показали, что в наиболее удачных случаях прочность сцепления при 20% содержании никеля в осадке достигала 1400 кг/см².

Двойной сплав железа с кобальтом мы получили из ванн, имеющих следующий электролит:

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 150—200 \text{ г/л};$

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} = 100 \text{ г/л};$

$\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — в разных количествах;

$\text{H}_2\text{SO}_4 = 2—4 \text{ г/л}.$

Температура электролита 70—75° С; показатель концентрации водородных ионов $\text{pH} = 2,6—3,0$; $\text{Дк} = 4 \text{ а/дм}^2$. Количество кобальта в осадке — в зависимости от содержания солей кобальта в растворе — мы приводим в таблице 28.

С увеличением концентрации сернокислого кобальта в растворе увеличивается и количество его в осадке; с увеличением же кобальта в осадке твердость покрытий увеличивается.

Таблица 28

Количество кобальта в осадке и концентрация его в электролите

В а н н а	Количество в ‰	
	сернокислого кобальта в растворе	кобальта в осадке
Fe SO ₄ 7H ₂ O 150 г/л	5 г/л	0,15
Na ₂ SO ₄ 10 H ₂ O 100 г/л	10 г/л	0,20
Дк=4 а/дм ² , рН=2,8; Т°=70—75° С .	15 г/л	0,50
Та же ванна, но температура 50°С	30 г/л	5,5
и Дк=8 а/дм ²	50 г/л	7‰
"	75 г/л	16‰

При незначительном содержании кобальта в осадке (0,2—0,4‰) повышается качество электролитического осадка, прочность сцепления повышается в 1,5—2,0 раза и увеличивается вязкость осадков и твердость их. Удаление водорода, посредством последующего нагревания образцов в нейтральной среде улучшает осадок: вязкость и твердость его повышается.

В таблице 29 показано увеличение твердости в зависимости от степени нагрева.

Таблица 29

Влияние различного нагревания электролитических осадков из Fe-Co на твердость их

Термическая обработка с целью рекристаллизации		Увеличение или уменьшение твердости в ‰	Скорость охлаждения
температура °С	выдержка час		
300	2	+30,7‰	Вместе с печью
300	3	+18,8‰	"
350	3	+12,1‰	"
350	4	+6‰	"
400	3	-1,5‰	"
400	4	-9,8‰	"

Таблица подтверждает, что наивыгоднейший режим термообработки, опять-таки с целью повышения твердости, а следовательно и износоустойчивости, будет состоять из выдержки, равной 2—3 часам, при температуре 250—300° С.

При наличии кобальтовых добавок ванна железнения работает более устойчиво, покрытия получают гладкие, осадки мелкозернистые и допускаемую плотность тока можно повысить на 20—30‰.

Получается общее улучшение гальванического процесса. Но нужно учесть высокую стоимость кобальтовых солей и их дефицитность, а следовательно, применение таких добавок можно допускать лишь в особых случаях, — например, для покрытия особой номенклатуры деталей или для получения режущих сплавов.

Сплав железа с марганцем был получен в наших опытах также из сернокислых и хлористых ванн.

Исследования показали целесообразность разделения анолита от католита пористой диафрагмой и применения разных растворов в анолите и в католите.

Чтобы уменьшить влияние окислительного процесса на анод, раствор анолита составляется иным, нежели раствор католита. Анолит состоит из сернокислого аммония и сернокислого железа, а католит состоит из сернокислого аммония, сернокислого марганца и незначительного количества сернокислого железа.

Марганец осаждается вместе с железом, преимущественно при особых условиях — когда кислотность электролита низкая, плотность тока высокая и температура раствора низкая.

Осадки с большим содержанием марганца всегда были плохого качества, осадки с марганцем в количестве до 2%, имеют удовлетворительное качество.

Такие осадки, с содержанием марганца до 2‰, можно получать как из сернокислых, так и из хлористых ванн. Раствор сернокислой ванны:

FeSO₄ 7H₂O — 250 г/л;
MnSO₄ 7H₂O — 150 г/л;
(NH₄)₂SO₄ — 125 г/л;
H₂SO₄ — 2 г/л.

Температура электролита 50—60° С, плотность тока 6—8 а/дм²; рН = 3,5—4,0. Аноды железные.

Из такой ванны мы получали удовлетворительные осадки с содержанием марганца в осадке = 0,7—1,2‰. Из хлористых ванн хорошие осадки получают при электролите состава:

FeCl₂ 4H₂O — 200 г/л;
MnCl₂ 4H₂O — 400 г/л;
NH₄Cl — 70 г/л;

Температура 45° С; Дк = 5,5 а/дм²; рН = 3,5.

Из этой ванны получают осадки высокой твердости, содержащие 0,4%—0,6% марганца; осадки имеют удовлетворительное качество.

Сцепление с основным металлом — высокое.

Применение сплавов железо-марганец может быть более эффективным, если учесть высокую стоимость кобальтовых и никелевых солей и низкую стоимость марганцевых солей.

Этому же также способствует благоприятное влияние марганца на повышение износоустойчивости покрытий, а также высокая прочность сцепления осадка Fe-Mn с основой.

Гальванический сплав железа с хромом исследовался нами более в сернокислых и менее — в хлористых ваннах. В сернокис-

лых ваннах в качестве солей хрома были взяты хромовый ангидрид и хромовые квасцы.

При небольших добавках хромового ангидрида и при свинцовых анодах осадок из железа и хрома получался удовлетворительного качества, но он имел мало хрома — до 1,0 — 1,5%.

Ванна, состоящая из FeSO_4 и хромовых квасцов (раствор темнозеленый), давала осадки постоянно имеющие значительные количества хрома в покрытии, но осадки не имели удовлетворительного качества, вернее они были неустойчивыми по своему качеству, последнее менялось, очевидно, из-за непостоянства электролиза. Хлористые ванны с добавками хромового ангидрида дают осадки, содержащие хром в различных количествах.

Сплав из металлов железа и вольфрама может быть получен, согласно литературным источникам (10), из ванны, в которой имеется электролит из 350 г/л FeSO_4 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и небольших количеств вольфрамата натрия.

Мы получили сплав железа с вольфрамом из электролита:

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 150 г/л;

$\text{Na}_3\text{H}_4 \left[\text{P}(\text{W}_2\text{O}_7)_6 \right]$ в разных количествах от 2 до 10 г/л

H_2SO_4 2 — 4 г/л.

Температура электролита 50°C ; $\text{Дк} = 6-8$ а/дм².

При наличии соли вольфрама в указанном количестве получили осадок с содержанием вольфрама:

1 — $\text{Na}_3\text{H}_4 \left[\text{P}(\text{W}_2\text{O}_7)_6 \right]$ 2 г/л — вольфрама в осадке 4,2%

— 2 — то же 4 г/л — — — 6,2%;

3 — то же 6 г/л — вольфрама в осадке 9,4%;

4 — то же 15 г/л — — — 16,64%.

Количество сернистого железа во всех опытах было одинаковым, а именно равным 150 г/л.

Осадки на катодах из латуни — металлического цвета, светлые, а на катодах из железа осадки темные.

Вольфрам соосаждается вместе с кобальтом и железом. Мы получили и исследовали сплав железа с цинком и нашли хорошим его служебные свойства, когда присутствие железа становится очень малым. Хорошие механические свойства дает осадок, если содержание железа в нем не превышает 2%. Электролит для получения сплава цинка с железом на цинковой основе состоит из следующих химикатов:

$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 215 г/л;

$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ — 40—50 г/л;

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ — 75—100 г/л;

Декстрин — 10 г/л;

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 50—80 г/л.

Температура электролита $45 \pm 5^\circ\text{C}$, $\text{Дк} = 4-8$ а/дм², $\text{pH} = 3,5-4,0$.

Механические качества осадка зависят от количества железа в нем — чем больше железа, тем более хрупким и более твердым становится осадок.

В таблице 30 представлены результаты различных опытов, определяющих зависимость количества железа в осадке от содержания его солей в электролите.

Таблица 30

Количество железа в сплаве железо-цинк

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Количество железа в осадке %	Количество цинка
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		
88%	20,41	Остальное
72	7,05	"
64,5%	4,30	"
55%	2,23	"
29,4	2,06	"
17,0	0,69	"

Сцепление железо-цинкового покрытия со сталью, а особенно с чугуном, очень хорошее, осадки обладают большой вязкостью, особенно при малых содержаниях железа.

Цвет осадка светлый и светлосерый. Сплав имеет прекрасные антифрикционные свойства. Так результаты сравнительных испытаний, приведенные в таблице 31, показывают хорошие качества его как подшипникового сплава.

Таблица 31

Сравнительные показатели антифрикционных свойств

Сплав, из которого изготовлен образец	Условия испытания				Результаты испытания	
	нагр. в кг/см ²	скорость м/сек.	время испыт. ч.	температура в конце опыта $^\circ\text{C}$	весовой износ в граммах	приращение температуры подшипника $^\circ\text{C}$
Б—83	21	1	2 ч.	49	0,010	31
Железо-цинковый	"	"	"	51	0,010	33
Бронзовый	"	"	"	54	0,010	36
Б—83	25	"	"	60	0,010	42
Железо-цинковый	"	"	"	52	0,010	34
Бронзовый	"	"	"	62	0,010	44

Подшипниковый железо-цинковый сплав (авторский коллектив: Ревякин В. П., Суржинский Г. К., Недзельский М. Д., Мясников П. Д. и Алексеев А. А.), был проверен в обычной эксплуатации токарно-винторезного станка ДИП-200, где был поставлен вместо бронзы на передний подшипник шпинделя. В течение 6 месяцев работы никаких дефектов у подшипника замечено не было. Подшипник был изготовлен биметаллическим, основа — из стали 2, покрытие — тонкий слой железо-цинкового сплава.

Такой сплав можно ставить при ремонте чугунных и бронзовых подшипников при невысоких нагрузках и скоростях. Хорошие результаты получены при ремонте поршневых бобышек, поршней, поршневых колец. Предварительные опыты эксплуатации шатунных подшипников ЗИС-5, покрытых железо-цинковым сплавом, показали удовлетворительные результаты.

Тройные сплавы на основе железа

Все гальванотермические сплавы, которые мы исследовали, имеют 3-й компонент — углерод, который вводится в гальванические покрытия с целью придания им свойств стали.

Сюда относятся такие сплавы как железо-никель-углерод, железо-кобальт-углерод и т. д.

После ряда проделанных опытов выяснилось, что цементация покрытия, одновременно с насыщением железо-никелевого сплава углеродом, обеспечивала и диффузию металла покрытия в основной металл; прочность сцепления при этом достигала прочности целого металла.

Цементированное покрытие Fe-Ni после закалки в воде (при температуре 815°C) достигает твердости по шкале Rc=58.

Полученный таким образом гальванотермический сплав железо-никель-углерод дает возможность получить на стальных и чугунных изделиях поверхностный слой высокой твердости и износоустойчивости. Такой сплав дает возможность облагораживать детали машин, изготовленные из дешевого металла.

Тройной сплав железо-кобальт-углерод мы получили в покрытиях при той же технологии, что и для железо-никелевого сплава.

Микроструктурные исследования сплава после цементации углеродом доказывают, что граница между покрытием и основным металлом исчезает, что ее можно только предполагать по разнице в структурах металла.

Мы установили, что нагревать электролитические осадки, без предварительного удаления водорода, до температуры $800-900^{\circ}\text{C}$, нельзя, так как покрытие вспучивается и отстает от основы; имеющаяся газовая прослойка из водорода между покрытием и основой при большой скорости нагревания, расширяясь, деформирует покрытие и отслаивает его от основы.

Чтобы иметь сцепление толстых покрытий с основным металлом (равное прочности основного металла) образцы были

подвергнуты длительному нагреву для диффузии одного металла в другой.

После термической диффузии сцепление оказывалось настолько прочным, что оно не уступало прочности на разрыв целого металла.

Тройным сплавом железо-никель-углерод были покрыты чугунные образцы, а впоследствии и чугунные звездочки (15) самоходного комбайна.

При рассмотрении шлифов из чугунных образцов (после их цементации) была обнаружена диффузия углерода снизу и сверху. Углерод из чугунного основания проникал снизу в металл гальванического покрытия.

Опытные чугунные звездочки, покрытые этим сплавом и закаленные, испытывались на стенде, у которого нагрузка на крючковую цепь осуществлялась при помощи пневматического натяжителя и была равна 150 кг; окружная скорость вращения звездочки = 5 м/сек.

В результате испытания, продолжительность которого равнялась 16 часам, были получены положительные результаты.

После замера износа зубьев (покрытых и термически обработанных вышеуказанным способом), оказалось, что средний относительный износ зубьев = 0,006 мм/час, а средний износ зубьев звездочек из серого чугуна (при испытаниях на этом же стенде), не подвергнутых закалке (сырых зубьев) составляет 0,15—0,20 мм.

Следовательно, износ зубьев, покрытых гальванотермическим сплавом, оказался в 30 раз меньше, чем износ сырых зубьев чугунной звездочки.

Тройной гальванический сплав железо-кобальт-вольфрам мы получили из сернокислой ванны, в которой находились в растворе соли железа, кобальта и вольфрама. Эти опыты, проведенные (авторский коллектив: Ревякин В. П., Суржинский Г. К., Бухиник С. Я.) на Иркутском заводе им. В. В. Куйбышева, установили условия, при которых осаждается требуемое количество заданных металлов.

Конечно, такой сплав может быть использован для восстановления режущего инструмента или для изготовления биметаллического инструмента только тогда, когда будет введен еще углерод, необходимый для образования карбидов сплава. Таким образом, режущий сплав будет состоять из четырех компонентов и также будет гальванотермическим, так как для своего образования требует проведения двух процессов — гальванического и термического.

Глава VI

МЕДНЕНИЕ АВТОТРАКТОРНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Процесс электролитического осаждения меди

При ремонте деталей, изготовленных из бронзы, можно применять наращивание посредством меднения. Наиболее приемлемыми в условиях ремонтных мастерских ваннами будут такие, которые содержат в электролите сернокислую медь с кислотой.

Наибольшее распространение на практике имеет электролит следующего состава:

сернокислая медь $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ — 250 г/л;
серная кислота H_2SO_4 — 40—50 г/л.

Электролиз производится при комнатной температуре, катодная плотность тока 2—3 а/дм².

Ванны для меднения изготавливаются преимущественно деревянными и внутри заливаются смолой или асфальтовым лаком.

В качестве анодов навешиваются пластины из электролитической меди или из поделочной чистой меди, но в последнем случае обязательно проверить наличие в меди вредных примесей: мышьяка и сурьмы, которые могут быть допущены только в виде следов.

Расстояние между анодом и катодом не менее 100—120 мм; выход металла по току в ваннах меднения достигает 95—96%.

Меднение можно рекомендовать для восстановления наружных поверхностей бронзовых втулок и вообще бронзовых подшипников. Для того же, чтобы покрыть стальные изделия, на них наносится тонкий подслоу никеля и меднение в дальнейшем ведут по никелю.

Технологический процесс ремонта бронзовых втулок состоит из следующих операций:

1. Шлифовка наружных поверхностей до вывода рисок и неровностей.

2. Обезжиривание втулок путем протирания наружной поверхности их щеткой в растворе извести.

3. Промывка в проточной воде.

4. Меднение втулок на толщину слоя до 0,10 мм.

5. Нейтрализация в щелочном электролите и промывка в горячей воде.

6. Сушка в опилках.

7. Наружная зачистка и контроль.

Неисправности ванны

В процессе эксплуатации ванна меднения корректируется на требуемое количество серной кислоты, так как сернокислая медь поступает в электролит в результате растворения медных анодных пластин и не требует пополнения. Поэтому, по мере работы, в ванну нужно добавлять серную кислоту, проверяя в дальнейшем количество сернокислой меди, чтобы выдерживать количественное соответствие этой соли с серной кислотой.

При недостатке серной кислоты осадки образуются хрупкие с точечной поверхностью, при избытке серной кислоты получают темные рябые отложения, наблюдается выделение водорода.

Крупнокристаллическая структура осадка получается при избытке медного купороса. Наоборот, при недостатке его — покрытие будет негладкое и непрочное.

При загрязнении ванны меднения мышьяком образуются темные полосы на поверхности детали, осадок портится.

Если на краях деталей образуется темный загар или красный осадок, то это указывает на то, что допущена высокая катодная плотность тока.

Никелирование автоотракторных деталей при их ремонте

С целью наращивания изношенных деталей (19) в некоторых случаях применяют горячее твердое никелирование, заменяющее в некоторой степени твердое хромирование. При горячем никелировании можно получить осадки толщиной более 1 мм, твердость никелевого покрытия равна твердости отожженной инструментальной стали, сцепление со стальной основой очень хорошее.

Перед никелированием поверхность деталей полируется. Обезжиривание производится в щелочном электролите, после чего деталь промывается в проточной воде.

После этого производится анодное травление деталей в 25% растворе H_2SO_4 при плотности тока 15—20 а/дм², в течение 2—3 мин, при комнатной температуре. После промывки деталей производится их никелирование.

Для повышенной износостойкости, при хорошей коррозионной стойкости рекомендуется следующий состав:

сернокислый никель	170 г/л;
хлористый аммоний	30 г/л;
борная кислота	35 г/л.

Температура электролита = 50—60° С; плотность тока = 3—5 а/дм²; pH=2.

Твердость такого осадка равна 40—48 единицам по шкале «С» Роквелла.

Для получения осадков «умеренной» твердости, соответствующей 20—26 шкалы Rc рекомендуется другой состав:

хлористый никель	280—300 г/л;
борная кислота	28—30 г/л.

Температура электролита 50° С, плотность тока 2—5 а/дм², а при перемешивании электролита плотность тока может быть повышена до 10 а/дм². Показатель концентрации водородных ионов pH = 2, корректируется добавлением в электролит соляной кислоты.

Для мягких осадков рекомендуется другой состав:

сернистый никель	300 г/л;
хлористый никель	30 г/л;
борная кислота	35 г/л.

Температура электролита — 60° С; pH = 2, плотность тока 2,5—5 а/дм².

В этих осадках получается твердость 78—83 единицы по шкале «В» Роквелла.

Для защитно-декоративных целей и для применения никелевого подслоя перед меднением с целью улучшения сцепления меди со стальной основой применяется обычно холодное никелирование и электролит готовится другого состава:

сернистый никель	140 г/л;
сернистый натрий	50 г/л;
сернистый магний	30 г/л;
борная кислота	20 г/л;
хлористый натрий	5 г/л.

Температура электролита комнатная, pH = 5,0, плотность тока 0,5—0,6 а/дм², перемешивание отсутствует.

При увеличении концентрации никелевых солей плотность тока может быть повышена.

Детали перед никелированием полируются, — после чего обезжириваются путем протирания в растворе негашеной извести и тщательно промываются в проточной воде.

Нормальные осадки должны иметь серебристо-белый цвет; серый и темный цвет образуются при сильном токе, плохой подготовке или высокой кислотности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ефремов В. В., Восстановление танков. Воениздат, 1947.
2. Зайцев А. К. Основы учения о трении, износе и смазке машин, Машгиз, 1947.
3. Казарцев В. И., Ремонт машин. Сельхозгиз, 1949.
4. Шилов П. М., Основы ремонтного дела в горной промышленности, Гостехиздат, 1945.
5. Биллитер., Основы гальванотехники, 1937.
6. Перцовский М. Л., Пористое хромирование. Машгиз, 1949.
7. Кудрявцев Н. Т., Гальванотехника. Гизлегпром, 1940.
8. Витман Ф. Ф. и Давыденков Н. Н., О методике изучения механических свойств хромовых покрытий, «Заводская лаборатория», № 9, 1945.
9. Отчет за 1948 г. о научно-исследовательской работе кафедры ремонта машин Таганрогского института механизации сельского хозяйства. «Результаты производственных испытаний поршневых колец, У2, покрытых пористым хромом и гильз У-2, закаленных токами высокой частоты», В. П. Ревякин и Л. Н. Певзнер.
10. Лайнер В. И. и Кудрявцев Н. Т., Основы гальваностегии, том II, 1946.
11. Передовой опыт ремонта тракторов (МТМ на выставке) ред. А. Долженков, Сельхозгиз, 1940.
12. Мелков М. П., Ремонт автодеталей гальваническим наращиванием, Воениздат, 1947.
13. Грозовский Т., Тавровская Р., Промышленное применение оставления для восстановления изношенных деталей. Журнал «Автомобиль», № 1, 1951 г.
14. Петров Ю., Исследование качества покрытий, полученных путем оставления. Журнал «Автомобиль», № 2, 1951 г.
15. Ревякин В. П., Восстановление тракторных деталей путем железнения. Сборник по ремонту тракторов, Ростиздат, 1950.
16. НИМИС. Инструктивные материалы по ремонту тракторных деталей методом железнения, МСХ, 1950.
17. Баймаков Ю. В., Электролитическое осаждение металлов. Химгосиздат, 1925.
18. Бегагоген И. и Радчик А., Струйное электролитическое хромирование, МТС, № 1, 1951.
19. Картотека ТехСо, серия, 3, Борьба с коррозией. № 701/30 1946, референт инж. А. В. Шрейдер.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Глава I. Общие сведения из технологии ремонта деталей машин	5
Способы восстановления автотракторных деталей	5
Размеры допускаемых износов	6
Глава II. Общие сведения из электрохимии	15
Электролиз. Электрохимический ряд напряжений	15
Влияние температуры электролита D к и pH на образование катодного осадка	20
Выделение металла и водорода на катоде	23
Механизм образования электролитического осадка и влияние различных факторов на качество его	26
Рассеивающая и кроющая способность ванн. Сцепление осадка с основой	30
Глава III. Хромирование автотракторных деталей	37
Сущность процесса электролитического осаждения хрома	37
Подготовка деталей к хромированию	42
Режим процесса хромирования	49
Технологический процесс хромирования	51
Размерное хромирование. Струйное хромирование	52
Пористое хромирование	57
Приготовление электролита ванн хромирования. Брак при хромировании	60
Отдельные примеры хромирования	63
Оборудование хромировочного отделения	66
Глава IV. Железнение автотракторных деталей	77
Процесс железнения. Сущность его и свойства осадков	77
Режим процесса железнения. Влияние различных факторов на качество осадка	85
Приготовление электролита	95
Прочность сцепления. Внутренние напряжения осадка	98
Технологический процесс железнения	103
Струйное, размерное и пористое железнение	107
Оборудование гальванического отделения по железнению деталей	110

Технологический процесс железнения автотракторных деталей. Брак при железнении	115
Глава V. Покрытие деталей гальваническими и гальванотермическими сплавами	118
Электролитические сплавы	118
Гальванотермический сплав железо-углерод для ремонта автотракторных деталей	123
Гальванические сплавы железа с различными металлами	125
Тройные сплавы на основе железа	132
Глава VI. Меднение автотракторных деталей	134
Процесс электролитического осаждения меди	134
Никелирование автотракторных деталей при их ремонте	135
Список использованной литературы	137

Редактор С. И. Кракау
Техн. редактор Ф. Г. Луговская
Корректор Т. Н. Ковинина

Сдано в набор 3 марта 1952 г. Подп. к печати 25 июля 1952 г.
Печ. л. 8,75. Уч.-изд. л. 9,1. Бумага 60×92/16. Тираж 3000.
Заказ № 484. НЕ 00347. Цена 2 руб.

Отпечатано в 12-й типографии треста Росполиграфпрома,
г. Иркутск, улица К. Маркса, 11.

Пр
Вв
Г

Г

Г

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
10	6 сверху (в знаменателе)	4-0,005	4. 0,005
16	14 снизу	...приобретает...	...отдает...
16	15 снизу	...отдача электронов...	...получение электронов
62	3 сверху	$BaCO_3 + H_2SO_4 = BaSO_4 + CO_2 + H_2O$	$BaCO_3 + H_2SO_4 = BaSO_4 + CO_2 + H_2O$
70	12 сверху	$d_3 = \frac{0,0405 \rho W^2}{BE^2}$ мм, где:	$d_3 = \frac{0,0405 \rho W^2}{BE^2}$ мм, где:
73		Цифру 150 в чертеже на рис. 28 не читать	
80	подпись под рис. 32	в хлористой ванне	в сернокислой ванне
81	1 сверху	На рисунке 32...	На рисунке 33...
82	подпись под рис. 33	... в сернокислой ванне	... в хлористой ванне
"	26 снизу	На рисунке 33...	На рисунке 32...
87	подпись под рис. 36	... в хлористой ванне	... в сернокислой ванне
106	17 сверху	...изоляционные лаки —эмалит и цапонлак,	...изоляционные лаки —эмалит и цапонлак,

Ф84/54